

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

Trabajo Monográfico para optar al Título de Ingeniero en Electrónica

TÍTULO:

“Diseño de un Sistema de Radiocomunicaciones para brindar acceso a Internet a dos escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia en los departamentos de Jinotega y Matagalpa”

AUTOR:

Br. Luis Carlos Poveda Valdivia

Carnet: 2010-32766

Tutor: Ing. Carlos Ortega

Managua, 26 de julio de 2019

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios que, en el momento justo y en su tiempo perfecto, me ha permitido concluir con mi trabajo de tesis.

Agradezco a mis padres, quienes desde siempre me han motivado a alcanzar mis sueños, y que con gran sacrificio lograron ser el soporte necesario para que yo pudiera culminar mis estudios.

A mis abuelos que me dieron su respaldo sin titubear, desde el primer día en la universidad, y que permanece intacto hasta el día de hoy y estoy seguro que hasta el último de nuestros días.

A mi tutor, profesor Carlos Ortega, que desde el primer momento depositó su confianza en mí, y empezamos a trabajar en conjunto por los objetivos que hoy vemos cumplidos.

Agradezco a todas las personas que durante este proceso me alentaron a seguir adelante, a no desistir y a imaginar la sonrisa de la meta cumplida, que hoy se refleja en mi rostro y en los suyos, y que no parará de andar.

RESUMEN

Este documento monográfico contempla el diseño de un Sistema de Radiocomunicaciones para proveer Internet a dos escuelas, Santa Enriqueta y La Hammonia, ubicadas en los Departamento de Jinotega y Matagalpa respectivamente. También se contempla el diseño de la red de Datos. El propósito del mismo es acercar a los maestros y alumnos de esta zona rural a las herramientas tecnológicas que se tienen acceso con mayor frecuencia en las zonas urbanas, y puedan ser utilizadas para el fortalecimiento de la educación.

En base a visitas de campo y análisis del terreno, en conocimiento de las normas regulatorias sobre la explotación del espectro radioeléctrico y de la disponibilidad de equipos en el mercado nacional, se decidió utilizar la tecnología WiFi (IEEE 802.11) para el diseño de los radioenlaces.

La ONG Project Alianza, quienes ejecutan un proyecto importante de desarrollo tecnológico para las escuelas antes mencionadas, no solo es el aliado estratégico de mayor valor en este proyecto, sino que también funge como sede principal de la red, cuya oficina tiene línea de vista con una de las escuelas, y es desde aquí desde donde se despliega la red de enlaces microondas.

Se realizó un diseño ordenado de la red de transmisión y la red de datos en base a las mejores prácticas, para facilitar la adición de nuevos dispositivos, así como la prevención y la resolución de problemas.

El proyecto concluyó con un Manual de Resolución de Problemas, diseñado para los usuarios finales: maestros y alumnos con poco conocimiento técnico en el área de las telecomunicaciones y la informática.

Contenido	Número de página
1 Introducción	1
2 Antecedentes.....	3
3 Justificación	6
4 Objetivos.....	7
4.1 Objetivo General	7
4.2 Objetivos Específicos	7
5 Marco Teórico.....	8
5.1 Radioenlace	8
5.2 Tecnología	9
5.3 Frecuencia de Operación	10
5.4 Modulación.....	11
5.5 Protocolo AirMax AC	11
5.6 Radio Mobile	12
5.7 Sistema de Energía Fotovoltaico para Sitio Remoto	12
5.8 Red de Datos.....	15
5.9 Topología Física de LAN	15
5.8 Topología Física de WAN.....	16
5.9 Capas del Modelo OSI	18
5.10 Switching y Routing.....	20
5.11 IP Planning.....	22
6 Capítulo I: Site Survey	23
7 Capítulo II: Simulación de Radioenlace	32
7.1 Ubicación de cada sitio.....	32
7.2 Propiedades de la red	33
7.3 Simulación de Radioenlace con Cerro El Chimborazo como Punto de Repetición. 37	
7.4 Simulación de Radioenlace con Cerro El Horno como Punto de Repetición.....	38
8 Capítulo III: Creación y Fortalecimiento de Enlaces Locales.....	42
9 Capítulo IV: Diseño de Red de Datos	44
9.1 IP Planning.....	44
10 Capítulo V: Selección de Hardware a Utilizar.....	47
10.1 Radioenlaces.....	47
10.2 Red de Datos	49
10.3 Sistema de Energía Fotovoltaico	51
11 Capítulo VI: Presupuesto	57

12	Capítulo VII: Elaboración de manual para la resolución de problemas.....	58
13	Conclusiones	59
14	Recomendaciones	60
15	Bibliografía.....	61
16	Anexos	63
16.1	Anexo 1: Manual de Resolución de Problemas	63
16.2	Anexo 3: Pararrayo para torre tipo punta Franklin con corona.....	63
16.3	Anexo 4: Hoja de Datos de Equipos de Radio	64
16.4	Anexo 5: Hoja de Datos de Equipos de Datos	66
16.5	Anexo 5: Cotizaciones Realizadas	68
16.6	Anexo 6: Imágenes de las dos Escuelas	72

Tabla de ilustraciones

Número de página

Imagen 1 Red VSAT - topología tipo malla	10
Imagen 2 Esquema de Modulación Digital	11
Imagen 3 Topologías físicas de LAN	16
Imagen 4 Topologías físicas de WAN	17
Imagen 5 Capas del modelo OSI	18
Imagen 6 Ubicación de los sitios en Google Earth	23
Imagen 7 Perfil de elevación entre la ONG y la escuela Santa Enriqueta	24
Imagen 8 Perfil de elevación entre la escuela Santa Enriqueta y La Hammonia	25
Imagen 9 Topología física propuesta para la red de radioenlaces	25
Imagen 10 Perfil de elevación oficina ONG – Cerro El Chimborazo	27
Imagen 11 Perfil de elevación Oficina ONG – Cerro El Horno	27
Imagen 12 Perfil de elevación Cerro Apante – Oficina ONG	27
Imagen 13 Perfil de elevación Cerro Apante - La Hammonia	28
Imagen 14 Perfil de elevación Cerro Apante - Santa Enriqueta	28
Imagen 15 Perfil de elevación La Hammonia – Repetidor	29
Imagen 16 Perfil de elevación Santa Enriqueta – Repetidor	29
Imagen 17 Topología física para la red de radioenlaces	30
Imagen 18 Ubicación de cada sitio	32
Imagen 19 Canales de frecuencia en la banda 5 GHz	33
Imagen 20 Propiedades de la red de transmisión	34
Imagen 21 Selección de miembros de la red	35
Imagen 22 Propiedades del sistema	36
Imagen 23 Simulación de Radioenlace Oficina – Cerro El Chimborazo	37
Imagen 24 Simulación de radioenlace Oficina – Cerro El Horno	38
Imagen 25 Simulación de Radioenlace Oficina – La Hammonia	39
Imagen 26 Simulación de Radioenlace La Hammonia - Repetidor	40
Imagen 27 Simulación de Radioenlace Repetidor – Santa Enriqueta	41
Imagen 28 Diagrama de Venn sobre Relación entre ONG y Proyecto	42
Imagen 29 Topología Lógica de Red de Datos	46
Imagen 30 Ubiquiti PBE-5AC-500	48
Imagen 31 Ubiquiti NS-5AC	49
Imagen 32 Router Mikrotik modelo RB2011UiAS-2HnD-IN	50
Imagen 33 Router Mikrotik modelo RB951G-2HnD	50
Imagen 34 switch Nexxt modelo Naxos 1600R	51
Imagen 35 Switch Mikrotik modelo RB260GS	51
Imagen 36 Datos de isolación solar por día en invierno	53
Imagen 37 Panel Solar 12V 80 Watts	54
Imagen 38 Batería Trojan 12V 85AH	55
Imagen 39 controlador de carga Steca LS1024EU	56
Imagen 40 inversor Samlex SAM-250-12	56

Tablas	Número de página
Tabla 1 Coordenadas de sitios	23
Tabla 2 Matrículas y condiciones en las escuelas.....	24
Tabla 3 Sitios de repetición propuestos	26
Tabla 4 Sitios de repetición propuestos	26
Tabla 5 Coordenadas de sitio Repetidor	29
Tabla 6 Distancia de Enlaces.....	41
Tabla 7 IP Planning Propuesto para la Red de Datos	45
Tabla 8 Especificaciones técnicas de equipo PBE-5AC-500.....	48
Tabla 9 Especificaciones técnicas de equipo NS-5AC	49
Tabla 10 Inventario de equipos y potencia en sitio Repetidor	52
Tabla 11 Presupuesto.....	57

1 Introducción

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) han tenido un impacto importante en la educación, especialmente el acceso a Internet, que ha cambiado la forma en cómo docentes y alumnos acceden a la información, gracias a una gran cantidad de recursos en línea. La calidad de la educación offline o tradicional, se ve altamente beneficiada, no solo para los alumnos que ahora pueden acceder a libros de texto, videos educativos, entre otros, sino también para los maestros que cuentan con la oportunidad de estar mejor calificados para los retos actuales y futuros.

En el contexto nicaragüense, a pesar del auge que ha experimentado el sector de las telecomunicaciones, las estadísticas de acceso a Internet son desalentadoras. Según el estudio “Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016” de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas, Nicaragua es el país con menor porcentaje de acceso a Internet en la región, menos del 15 % de los hogares tienen acceso a Internet, y un porcentaje menor al 10 % cuenta con acceso permanente a Internet en dispositivos móviles. [1]

En el Departamento de Jinotega y Matagalpa, ubicados a 140 y 130 Km de Managua respectivamente, Project Alianza, una ONG que trabaja con programas de educación para maestros, niñas y niños de las zonas cafetaleras de estos departamentos [2], actualmente desarrolla un Programa Tecnológico, y como parte de este, en el año 2017, donaron Tablets a la escuela Santa Enriqueta, y a la escuela La Hammonia, para ser integradas en las materias de estudio, utilizando aplicaciones educativas para el desarrollo de las mismas. Para el año 2018, también se contempla la posibilidad de que la ONG done computadoras a las escuelas. Sin embargo, en estas escuelas no hay Internet, lo que limita el potencial del Programa Tecnológico en desarrollo.

El estudio “Value of Connectivity. Economic and social benefits of expanding internet access” [3] recoge resultados excepcionales que se podrían obtener al expandir el acceso a Internet, entre los que destacan la reducción de la pobreza, mayor acceso al conocimiento, reducir las tasas de mortalidad infantil, entre otros. En aras de acercar a las comunidades rurales de nuestro país hacia estos beneficios, se

consultó con varias compañías la posibilidad de brindar el servicio de Internet en la zona, pero en la mayoría de los casos no cuentan con la infraestructura necesaria y se niegan a invertir ya que no es viable para sus intereses económicos. Este trabajo pretende demostrar que es posible diseñar un proyecto que logre garantizar el derecho humano a la conectividad a niñas y niños de las zonas rurales cafetaleras de Nicaragua a un costo asequible.

Este trabajo contempla el diseño de una red de transmisión por radioenlace y una red de datos para brindar Internet a las escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia, incluyendo un Manual de Resolución de Problemas dirigido a administradores locales de la red.

2 Antecedentes

Para el análisis, diseño y posible implementación de este proyecto, se han revisado otros trabajos monográficos con estrecha relación al problema que se desea resolver, destacando por la profundidad con la que se aborda el tema, variables teóricas, metodología y su integración con la comunidad.

Realizando una búsqueda en el Centro de Documentación (CEDOC) de la Facultad de Electrotecnia y Computación, se destacan tres trabajos monográficos:

El primero de ellos lleva el título: **“Diseño de Radioenlace Multipunto para proporcionar Internet a 5 escuelas del municipio Wiwilí - Nueva Segovia”**, elaborado por dos estudiantes de Ingeniería Electrónica. En esta primera tesina, se aborda como una problemática urgente la ausencia de conectividad en las escuelas, lo que conlleva la reducción de la brecha digital y el acceso a la información, especialmente a recursos literarios que por lo general son costosos o solo se encuentran en las zonas urbanas. El proyecto se plantea en la zona rural de Wiwilí, un municipio ubicado a aproximadamente 270 Km de la ciudad de Managua. Uno de sus autores es oriundo de la zona, basándose en su propia experiencia como estudiante de escuela primaria en ese municipio, encontrando en ello una motivación especial que enriquece el contenido. El trabajo a su vez es una propuesta elaborada para la Alcaldía de Wiwilí, entidad que contempló en su presupuesto un laboratorio de computación para cada una de las cinco escuelas [4].

A nivel técnico, en el trabajo antes mencionado se observa un cálculo destacado en el diseño de los radioenlaces, considerando parámetros como indisponibilidad y fidelidad, por mencionar algunos, complementados por simulaciones con el software Radio Mobile. También se aprecia un amplio soporte del trabajo realizado en normas nacionales e internacionales, así también aspectos legales y regulatorios [4].

El segundo tiene por título: **“Diseño de una red de servicio de internet para la comunidad de Sabana Grande, Departamento de Madriz”**, elaborado por dos estudiantes también de Ingeniería Electrónica. El proyecto se desarrolla en una pequeña comunidad de aproximadamente 2,600 habitantes ubicada a 216 Km de Managua. Si bien esta comunidad ha sido beneficiada por numerosos proyectos impulsados por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) entre otras organizaciones, sobre todo en materia de energía solar, las compañías de telecomunicaciones aún no ven factible invertir en infraestructura para la zona. El proyecto se plantea brindar acceso a Internet en la comunidad, apoyándose del alcance en energía solar que han experimentado, y hacer de la conectividad un servicio estable y asequible. Para ello se propone un innovador modelo de plan de negocio, donde previo se requirió un arduo trabajo de Site Survey en el que se incluye la realización de encuestas especialmente diseñadas y la creación de sólidos enlaces con organizaciones y empresas locales [5].

El tercer trabajo monográfico tiene el título: **“Diseño de red LAN y radio enlace por microondas para acceso a Internet en la escuela de la comunidad El Coyolito del departamento de Estelí”**. En esta tesina, se plantea brindar acceso a Internet en un laboratorio de informática de una escuela ubicada en la comunidad El Coyolito, a 17 Km de la ciudad de Estelí. En la sala de informática se cuenta solamente con tres computadoras de escritorio para 12 estudiantes de secundaria, las cuales fueron donadas a la escuela por un matrimonio extranjero. El proyecto resalta que la ausencia de conectividad limita en gran medida el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) en el proceso educativo. Se interconecta la escuela con el centro de la ciudad a través de un radioenlace microondas, utilizando la tecnología WiFi. Se simula el radioenlace con el software PathLoss, y se explica a detalle el procedimiento. En contraste con los trabajos anteriores, en este caso se considera el diseño de la red LAN [6].

Los tres trabajos mencionados anteriormente tienen como factor común la ausencia de la infraestructura necesaria para brindar conectividad en la zona, motivada fundamentalmente por el escaso rédito económico que podrían generar estas inversiones para los modelos de negocios tradicionales de las compañías de telecomunicaciones. Existe relación con este proyecto y sirven como referencia para el desarrollo del mismo, con el cual se pretenden aportar nuevas soluciones orientadas a un diseño operativo de la red, en base a experiencias en el mercado laboral. También se considera el diseño de la red de datos, basado en las mejores prácticas, y se incluye un manual para la resolución de problemas por parte de administradores locales de la red, con poco conocimiento en informática.

3 Justificación

Las empresas multinacionales de las telecomunicaciones no ven rentable invertir en las zonas rurales, debido a la baja cantidad de usuarios en estos sectores, que no representan muchas ganancias. El difícil acceso terrestre y los retos geográficos son factores también determinantes para que haya poco o ningún interés en invertir en las zonas rurales.

Los maestros y alumnos de las escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia, como en la gran mayoría de las escuelas rurales del país, no cuentan con fuentes de información como una Biblioteca donde puedan realizar investigaciones, y trasladarse a las zonas urbanas se dificulta debido a las largas distancias que tienen que recorrer, en caminos de alta peligrosidad y en mal estado.

Las escuelas actualmente cuentan con tablets y en el futuro cercano computadoras, esta es una oportunidad para los maestros y estudiantes de entrar al mundo de las TIC's, sin embargo, la negativa de invertir en las zonas rurales por parte del sector de las Telecomunicaciones no permite que estas herramientas se exploten de la mejor manera posible.

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño de una red que contribuya a que los docentes y alumnos de las escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia, escuelas que han sido beneficiadas por un programa tecnológico de la ONG Project Alianza, tengan acceso a las TIC's a través del Internet y acercar a la comunidad estudiantil y docente de esta zona rural a las herramientas y oportunidades a las que se tiene acceso con mayor frecuencia en las zonas urbanas.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar un Sistema de Radiocomunicaciones, para brindar acceso a Internet a dos escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia en los departamentos de Jinotega y Matagalpa.

4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar mediante el software Radio Mobile una red de radioenlaces con las características necesarias para afrontar los retos geográficos de la zona.
- Diseñar la red de datos en base a las mejores prácticas.
- Seleccionar el hardware a utilizar en base a los requerimientos prácticos de la red.
- Realizar un presupuesto detallado para la posible implementación del proyecto.
- Establecer un Manual de Resolución de Problemas que pueda ser utilizado para identificar y resolver problemas en la red.

5 Marco Teórico

5.1 Radioenlace

Un radioenlace es una interconexión entre puntos fijos, un transmisor y un receptor, a través de ondas de radio. Según el estándar IEEE¹ 100, se denomina radioenlace microondas a los que operan en un rango de frecuencias entre 1 Ghz y 300 Ghz.

Una onda electromagnética no viaja en una línea recta. La propagación de las ondas de radio se puede modelar como un trayecto en forma de elipse en tres dimensiones, entre el transmisor y el receptor, a esto se le conoce como zona de Fresnel. “La zona de Fresnel es siempre más grande en el medio del trayecto, entre las dos antenas. Al menos el 60 % de la zona de Fresnel calculada debe estar despejada para evitar atenuaciones de señal significativas” [7].

Los radioenlaces terrestres se hacen típicamente entre puntos visibles, es decir, con línea de vista (LOS²), sin embargo, en ocasiones se hace necesario uno o más repetidores intermedios, para sortear los obstáculos del terreno. A la distancia comprendida entre un terminal y un repetidor, o entre dos repetidores, se le conoce como vano.

Se le conoce como radioenlace punto-a-punto a los radioenlaces entre dos nodos, a diferencia de los enlaces punto-multipunto que son enlaces entre varios nodos interconectados hacia un único punto de acceso. La selección de uno u otro tipo varía en dependencia de las características específicas del espacio geográfico en que se desarrolla y la aplicación final.

Para obtener un diseño adecuado que ofrezca las mejores características de calidad y disponibilidad, así como la selección adecuada de equipos a utilizar, se realizará una simulación por Software del enlace, utilizando el Software Radio Mobile, del que se habla más adelante, considerando aspectos técnicos reales para simular con mayor precisión el comportamiento práctico del mismo.

¹ Institute of Electrical and Electronics - Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

² Line-of-Sight - Línea de vista

5.2 Tecnología

Para los radioenlaces, se decidió utilizar bandas de frecuencias libres, es decir, que no requieren una licencia por parte del ente regulador nacional de las telecomunicaciones, TELCOR, con el fin de reducir los costos de operación, además, los equipos que trabajan en bandas de frecuencia 2.4GHz y 5GHz se encuentran con mayor facilidad y a menores costos en el mercado nacional. Sin embargo, TELCOR manda a registrar las frecuencias que se están utilizando y el propósito de los enlaces.

Los radios a utilizar cuentan con la tecnología Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), definido por el estándar 802.11n, que es una técnica donde el radio transmisor y el radio receptor cuentan con múltiples antenas, esto con el objetivo de enviar la misma información varias veces por múltiples trayectos [8].

Beneficios de la tecnología MIMO:

- Mayor resistencia al ruido, y mayor cobertura.
- Incrementa la calidad y confiabilidad en la recepción de la señal.
- Mayor tasa de transferencia.
- Mayor tolerancia a interferencias.

Se consideró utilizar la tecnología VSAT³, que son enlaces satelitales que se logran con pequeñas antenas, con diámetro no mayor a 2.4 metros, generalmente funcionan en la banda de frecuencia Ku-band (10.7 GHz – 14.5 GHz), pero también se pueden encontrar en la banda C-band (3.4 GHz – 7.75 GHz), y en menor escala se utiliza la banda Ka-band (17.7 GHz – 31 GHz), según *Imagen 1* [9].

Esta tecnología presenta la ventaja de que es posible sortear prácticamente cualquier obstáculo en el trayecto, especialmente útil en las zonas rurales donde generalmente se cuenta con línea de vista despejada, sin embargo, esta opción fue descartada debido a que, en comparación con otras tecnologías, los enlaces

³ Very Small Aperture Terminal - Terminal de Apertura Muy Pequeña

satelitales son costosos, presentan alta latencia, mayor susceptibilidad a fenómenos atmosféricos y bajas tasas de transferencia de datos o ancho de banda [9].

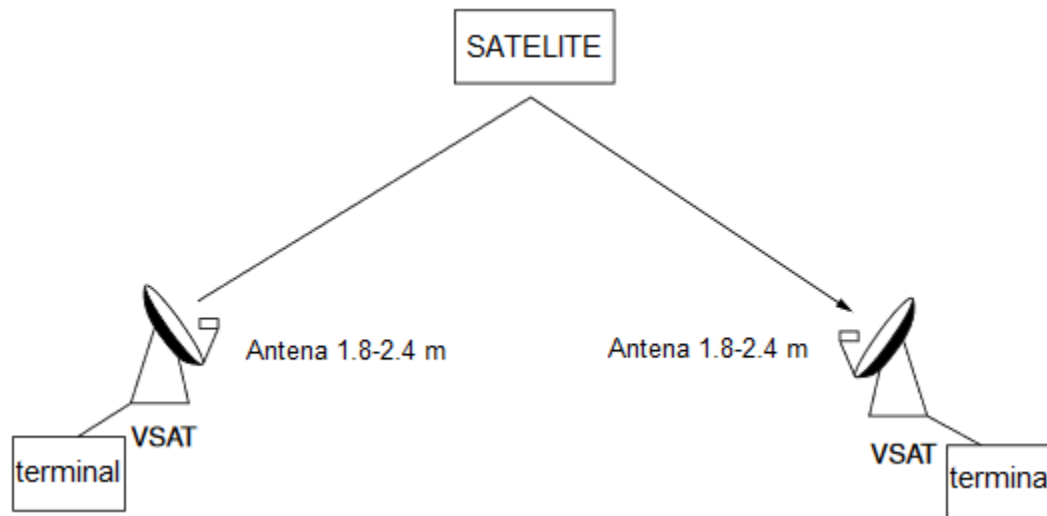


Imagen 1 Red VSAT - topología tipo malla

5.3 Frecuencia de Operación

Las bandas de frecuencia libres 2.4 GHz y 5 GHz, pertenecen a la tecnología WiFi y están definidas por la familia de estándares IEEE 802.11, que está dedicado por completo a la definición de las redes de área local inalámbrica (WLAN), centrándose en las dos capas más bajas del modelo OSI, la capa Física y la capa de Enlace de Datos. Este estándar es muy similar al estándar 802.3 Ethernet, con la diferencia en que la capa Física es inalámbrica a través de radiofrecuencia, y en la capa de Enlace de Datos, para evitar colisiones utiliza CSMA/CA⁴ en vez de CSMA/CD⁵.

La selección de la banda de frecuencia de operación del radioenlace microondas entre las bandas libres mencionadas anteriormente, para este caso no fue muy complicado. Se seleccionó la frecuencia de 5 GHz en base a las siguientes razones:

⁴ Carrier Sense Multiple Access/Colission Detection - Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones

⁵ Carrier Sense Multiple Access with Colission Avoidance - Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones

- Presenta menor probabilidad de interferencia debido a que esta banda es menos congestionada que la banda 2.4 GHz.
- Si bien es menos tolerante a obstáculos en el trayecto, el diseño de los enlaces se contempla de tipo LOS en espacio libre, por lo que esta desventaja no es determinante en este caso.
- Se encuentran equipos de mayor potencia y antenas de mayor ganancia en el mercado nacional e internacional para esta banda de frecuencia.
- Tiene una menor zona de Fresnel.

5.4 Modulación

En dependencia del esquema de modulación a utilizar, con los equipos seleccionados (que se detallan más adelante), podemos obtener una determinada tasa de transferencia que a su vez nos exige un nivel de recepción en un rango dado

PBE-5AC-500 Output Power: 24 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	24 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/2)	-96 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/8)	22 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (5/8)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (7/8)	21 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (7/8)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (3/4)	20 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (3/4)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (5/8)	19 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (5/8)	-65 dBm	± 2 dB

Imagen 2 Esquema de Modulación Digital

5.5 Protocolo AirMax AC

AirMax es el protocolo propietario de Ubiquiti, basado en TDMA⁶, que provee alto rendimiento, capacidad y escalabilidad para enlaces de alta velocidad. Este protocolo dinámicamente asigna un tiempo para transmitir a equipos activos, proveyendo una inmunidad al ruido mayor que el tradicional protocolo 802.11 CSMA/CA.

Ventajas del protocolo AirMax AC de Ubiquiti:

- Elimina las colisiones con TDMA.

⁶ Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Tiempo

- Maximiza la eficiencia del tiempo de transmisión/recepción.
- Cuenta con técnicas de calidad de servicio para dar prioridad a paquetes de voz y video.

5.6 Radio Mobile

Radio Mobile es un software libre que utiliza el modelo de propagación Longley-Rice para brindar una aproximación del resultado real del radioenlace, considerando las características de los equipos transmisores y receptores, como potencia, ganancia de la antena, altura de la antena, patrón de radiación, así como los datos de elevación del terreno, apoyándose con mapas extraídos de sitios de Internet como Google Earth, obteniendo como resultado una aproximación de la potencia recibida y el porcentaje de obstrucción de la Zona de Fresnel, como parámetros que toman mayor consideración al momento del diseño del enlace con el Software [10].

Los ángulos de elevación y de azimuth, también proporcionados por el software Radio Mobile, son determinantes a la hora de pasar a una etapa de implementación y realizar la alineación de las antenas involucradas en los enlaces.

La simulación de los radioenlaces microondas juega un papel muy importante en el diseño del proyecto, especialmente cuando se trabaja en una zona geográfica accidentada. Nos ayuda a definir si se puede realizar un enlace punto-a-punto, desde el punto A al punto B, o será necesario uno o más puntos de repetición para sortear obstáculos del terreno.

5.7 Sistema de Energía Fotovoltaico para Sitio Remoto

Para energizar un sitio remoto usando paneles solares, es necesario considerar los siguientes parámetros:

5.5.1 Potencia Máxima (P_m)

Es la sumatoria en watts (w) de la potencia consumida de todos los equipos que estarán conectados a la red eléctrica. Se puede expresar con la fórmula:

$$P_m = (P_1 + P_2 + P_3 \dots)$$

5.5.2 Potencia Total (P_T)

Es la Potencia Máxima (P_m) multiplicada por la cantidad de horas en que estarán encendidos los equipos y se expresa de la siguiente forma:

$$P_T = P_m * h$$

5.5.3 Almacenamiento de Energía

Para almacenar la energía obtenida por los paneles solares, se debe utilizar un banco de baterías, que es un arreglo de varias baterías conectadas en serie-paralelo según el voltaje y la intensidad requerida.

Un factor importante al tener en cuenta al momento de seleccionar las baterías a utilizar es el ciclo de carga de las mismas, para sistemas fotovoltaicos se recomienda baterías de ciclo profundo (deep cycle por sus siglas en inglés), que a diferencia de las baterías para autos que solo pueden descargarse un mínimo porcentaje de su capacidad para no sufrir daños, las baterías de ciclo profundo pueden descargarse hasta un 50 % de su capacidad, lo que es de vital importancia especialmente para los días nublados o lluviosos donde el impacto de los rayos del sol en los paneles solares puede ser mínimo o nulo. [11]

En el mercado encontramos dos tipos de baterías de ciclo profundo:

Baterías líquidas: son las más antiguas y son de bajo costo en comparación con las baterías llamadas secas. Requieren mantenimiento, liberan gases de hidrógeno (inflamable) y su ciclo de vida es más corto. [12]

Gel/AGM: son baterías selladas y no requieren mantenimiento. Se tiene que utilizar un controlador de carga especial. Estas baterías pueden proveer mayor potencia que las de tipo líquidas. [11]

5.5.4 Tipos de Paneles Solares

En el mercado actualmente podemos encontrar dos tipos de paneles solares:

- Monocrystalino: es el más antiguo y más producido de las dos tecnologías. Son hechos por una estructura de cristal única.

- Polycristalino: es más barato de producir que los monocristalinos pero no son tan eficientes.

5.5.5 Cálculo de Arreglo de Paneles Solares

La cantidad de paneles solares a utilizar se calcula en base al promedio de tiempo de sol en invierno que se recibe en determinada área, a este factor se le conoce como isolación solar. [11]

La isolación solar puede determinarse en base a datos empíricos de habitantes en la zona, que conocen perfectamente las horas promedio que reciben de sol en el peor de los casos (invierno), pero para lograr un resultado más preciso, se utilizan los datos extraídos de la página web de la NASA, ingresando las coordenadas del sitio de interés. [13].

Para obtener la potencia requerida por los paneles solares, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_G = \frac{P_R}{I_S}$$

Donde:

P_G es la potencia generada por los paneles solares en un determinado tiempo de sol.

P_R es la potencia requerida para el funcionamiento del sistema.

I_S es la isolación solar.

5.5.6 Período de Carga de Baterías

Es el tiempo de sol necesario para cargar al 100 % las baterías. Se puede distribuir el tiempo de carga en varios días, multiplicando las horas de sol promedio al día por la cantidad de días en que se requiere que se carguen las baterías.

5.5.7 Controlador de Carga

El controlador de carga regula el voltaje generado por el sistema de energía fotovoltaica para un tratamiento correcto de las baterías, impide que el voltaje retorne al panel solar y se pierda, previene que las baterías se sobrecarguen, así como otras funciones e indicadores para el monitoreo de todo el sistema de energía

fotovoltaico. Para un mayor detalle, es recomendado leer detenidamente la hoja de datos del fabricante.

5.5.8 Inversor

El inversor es un equipo capaz de convertir la energía eléctrica de corriente continua (DC, por sus siglas en inglés) en energía eléctrica alterna (AC, por sus siglas en inglés), que es la energía que se encuentra en la mayoría de los hogares.

5.8 Red de Datos

Una red de datos puede clasificarse en base a su extensión geográfica en red LAN y red WAN.

Una red LAN es una red privada que cubre una extensión geográfica relativamente pequeña, generalmente una oficina, un campus, o una escuela, tienen una administración central y comparten los mismos recursos de la red.

Las redes WAN son redes que abarcan una extensión geográfica más amplia, generalmente son administradas por compañías externas, como proveedores de servicios de Internet. Por ser una distancia considerablemente mayor entre los hosts, se requieren emplear tecnologías de transmisión que garantice adecuadamente el intercambio de datos.

5.9 Topología Física de LAN

Cisco [14] define las siguientes cuatro topologías físicas de LAN comunes (ver *Imagen 3*):

5.7.1 Estrella: Es una topología física de red donde todos los hosts están conectados a un punto central, generalmente un Switch. Esta es la topología más popular debido principalmente a que es fácil de implementar, es escalable y los puntos de falla son reducidos.

5.7.2 Estrella extendida o híbrida: Es similar a la topología en estrella, con la diferencia de que los dispositivos intermedios, también interconectan otras topologías en estrella.

5.7.3 Bus: todos los dispositivos se interconectan entre sí, hasta llegar al dispositivo final. Esta topología ya no se utiliza.

5.7.4 Anillo: los dispositivos se conectan a su respectivo vecino formando un anillo. Esta topología ya no se utiliza en redes LAN.

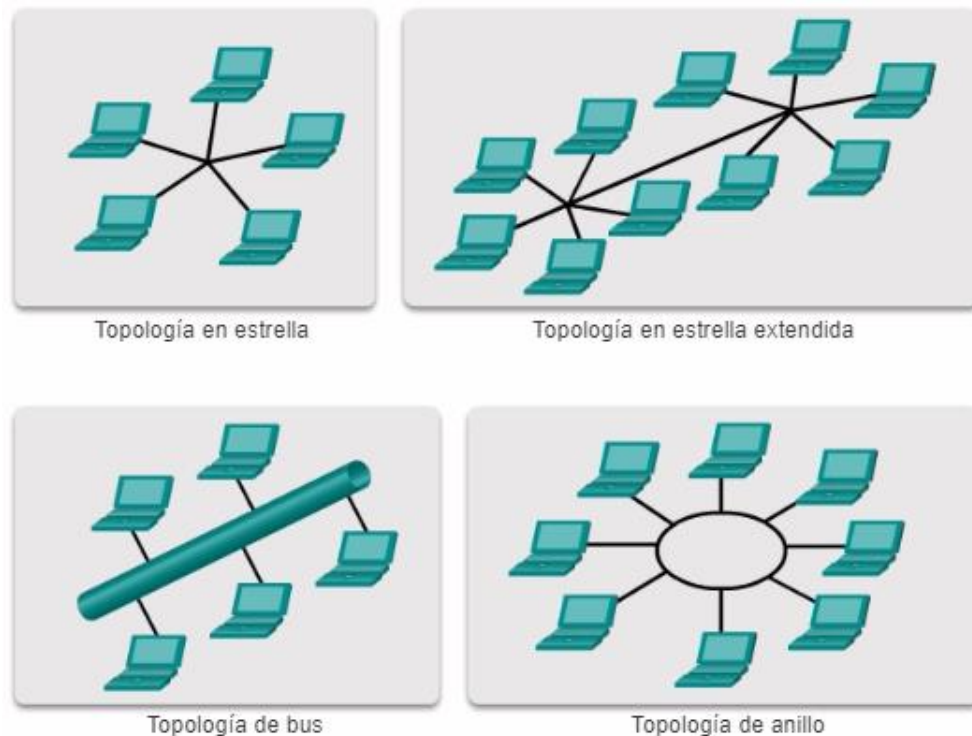


Imagen 3 Topologías físicas de LAN

5.8 Topología Física de WAN

Cisco [14] define las siguientes tres topologías físicas de WAN comunes (ver *Imagen 4*):

5.8.1 Punto a punto: esta es la topología más simple, consta de un enlace permanente entre dos terminales, y por esta razón es una de las topologías más populares.

5.8.2 Hub-and-spoke: también conocida como topología en estrella, es la interconexión de un sitio central con sucursales, mediante enlaces punto a punto.

5.8.3 Malla: esta topología requiere que todos los nodos o sistemas finales estén interconectados entre sí, mediante enlaces punto a punto. Esta topología proporciona alta disponibilidad, pero tiene costos administrativos y físicos más elevados. Para ahorrar costos, se puede construir una topología de malla donde

solo algunas terminales van interconectadas entre sí, tomando el nombre de topología de malla parcial.

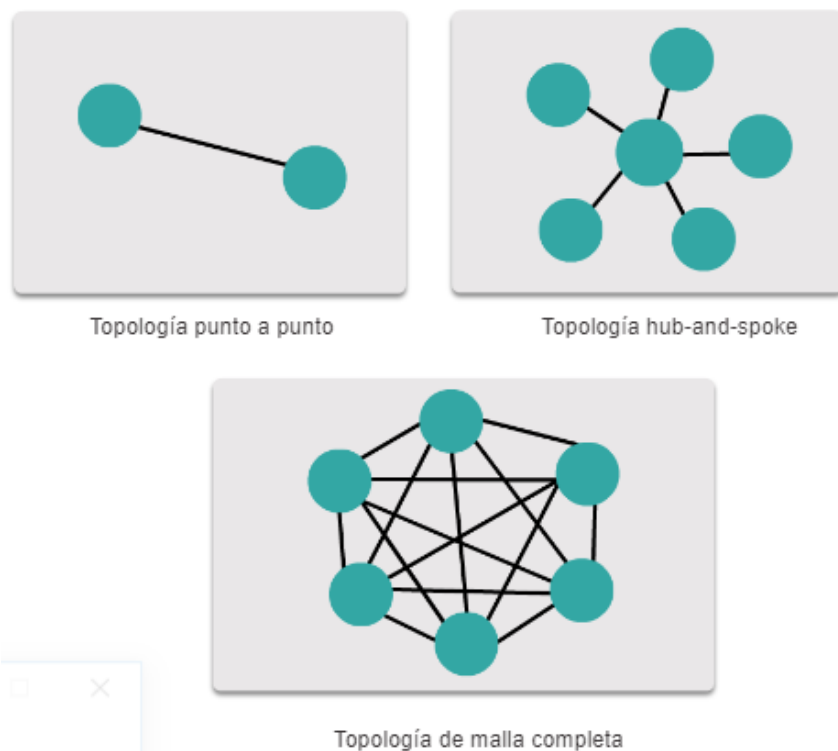


Imagen 4 Topologías físicas de WAN

A nivel de LAN, se utilizará una topología en estrella para la futura instalación de computadoras, y se utilizará un router con WiFi para brindar el acceso a las tablets y como equipo de borde entre la LAN y la WAN.

La topología física de la WAN dependerá del diseño de la red de radioenlaces, esta podría ser hub-and-spoke en el caso de que se encuentre un punto central desde donde desplegar toda la red, o será punto a punto en el caso de que el diseño consista en una red de radioenlaces microondas punto a punto. Se descarta la topología de malla completa porque no se contemplan enlaces redundantes para este proyecto.

5.9 Capas del Modelo OSI

El modelo de Interconexión de Sistema Abierto (OSI, por sus siglas en inglés) es un esquema en capas para los protocolos de red, publicado por la ISO⁷ en 1984. El modelo OSI no es la suite de protocolos para Internet, para esto se adoptó el popular modelo TCP/IP, sin embargo, el modelo OSI es el modelo de referencia más conocido y se usa para el diseño de redes de datos, especificaciones de funcionamiento y resolución de problemas. [14]

En la *Imagen 5* se muestran las capas del modelo OSI.



Imagen 5 Capas del modelo OSI

Para una mejor comprensión de este trabajo, es recomendable conocer los principios básicos de al menos las primeras tres capas del modelo OSI.

5.9.1 Capa 1: Capa Física

La capa 1 o capa física, “comprende los medios mecánicos, eléctricos, funcionales y de procedimiento para activar, mantener y desactivar conexiones físicas para la transmisión de bits hacia un dispositivo de red y desde él”. [14]

Entre los medios más utilizados que interactúan en la capa 1 están:

- Cable UTP.

⁷ International Organization for Standardization – Organización Internacional para la Estandarización

- Fibra óptica.
- Cable coaxial.
- Cable telefónico.

5.9.2 Capa 2: Capa de Enlace de Datos

La capa 2 o capa de enlace de datos, es más amplia que la capa 1, en el sentido de que ya aquí aparecen protocolos que requieren analizar con mayor detenimiento la topología de nuestra red y el diseño en general, así como configuraciones básicas.

Odom [14] se refiere a la capa 2 como: “el conjunto de protocolos que definen los métodos para intercambiar tramas de datos entre dispositivos en un medio común”.

En esta capa operan las VLAN (LAN Virtual, por sus siglas en inglés) que son dominios de broadcast⁸ que se utilizan para separar distintos tipos de tráfico en la red ya sea porque requiere un tratamiento especial o por seguridad, entre otros.

En esta capa también se pueden presentar problemas en la red como las tormentas de broadcast que son la transmisión indiscriminada de tramas entre dispositivos de red cuando en la misma hay un loop. Un loop se da cuando hay uno o más enlaces redundantes en la red sin la debida implementación de protocolos que eviten el reenvío masivo de mensajes a múltiples destinatarios.

5.9.3 Capa 3: Capa de Red

La capa de red direcciona y define el enrutamiento de datos entre un host de origen y un host de destino que no están en el mismo dominio de broadcast, es decir, que pertenecen a diferentes redes.

En la capa de red, los paquetes tienen como origen y destino una dirección lógica que identifica a cada host en la topología, a lo que comúnmente se le llama IP.

⁸ Dominio de Broadcast – Área lógica en una red de computadoras en la que cualquiera puede transmitir a otra siempre y cuando esté en el mismo dominio o VLAN.

Como una definición más amplia, se puede afirmar que la capa de red “proporciona servicios para intercambiar los datos individuales en la red entre dispositivos finales identificados”. [14]

5.10 Switching y Routing

5.10.1 Switching

“Los switches se usan para conectar varios dispositivos en la misma red. Los switches son los responsables de controlar el flujo de datos en la capa 2 y de dirigirlo a los recursos de la red”. [14]

Por lo general los switches no necesitan de ninguna configuración, de forma prefeterminada (al menos que el fabricante diga lo contrario) todos sus puertos operan en la VLAN 1. Hay switches administrables que cuentan –además de la posibilidad de acceder a ellos de forma remota- con la capacidad de asignar VLANs en cada uno de sus puertos, así como definir puertos de acceso y puertos troncales.

- Puerto de acceso:

Es un tipo de enlace punto a punto donde solo se tiene acceso a un determinado dominio de broadcast o VLAN.

Los hosts o dispositivos finales suelen estar conectados a un puerto configurado en modo acceso ya que sus tarjetas de red o su aplicación en específico no cuenta con la capacidad o necesidad de conectarse a un puerto troncal que permite el paso de múltiples VLAN, lo cual, en la mayoría de las veces tampoco es deseable.

- Puerto troncal:

Es un tipo de configuración lógica que se aplica al puerto de un enlace punto a punto, está basado en el protocolo IEEE 802.1Q y permite que múltiples VLAN pasen a través de un mismo enlace hacia dispositivo de red. Se usa comúnmente cuando en la red hay distintos servicios o VLANs a los cuales se requiere tener acceso en una ubicación distinta en nuestra red.

5.10.2 Routing

Cuando queremos recibir o enviar información a un dispositivo que no se encuentra en el mismo dominio de broadcast, es necesario enviar la trama de ethernet hacia un router. [14]

A diferencia de los switches que envían la trama que reciben por todos sus puertos a excepción del puerto en que fue recibida, el router usa su tabla de routing para encontrar la mejor ruta para reenviar un paquete.

Para poder navegar en internet, es común disponer de un router (generalmente proporcionado por el ISP) para que nuestras solicitudes (cargar una página web, enviar un correo, etc) puedan llegar a sus destinatarios (generalmente servidores externos), y de igual forma para que podamos recibir el paquete, y visualizarlo en la capa de aplicación del modelo OSI, que sería el software que utilizamos para dicha operación.

Para el diseño de la red de datos se recomienda utilizar distintos rangos de direccionamiento IP con el objetivo de ofrecer un mayor orden, estética y facilitar la resolución de problemas.

5.11 IP Planning

Consiste en asignar y documentar el direccionamiento IP para cada uno de los servicios y equipos de la red. El plan se realiza previendo el crecimiento de la red o futura integración de hosts o equipos a la misma. También se deben documentar los cambios realizados. Esto facilita la identificación y atención a fallas, y evita problemas en la red como la duplicación de IP y problemas de routing.

6 Capítulo I: Site Survey

Se realizó la primera visita de campo o Site Survey a las escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia el sábado 10 de marzo del año en curso. Con la ayuda de un GPS Garmin, se tomaron coordenadas de las mismas, así como de la oficina de la ONG que está impulsando el programa tecnológico (ver *Tabla 1*).

Sitio	Latitud	Longitud	Altura
Escuela Santa Enriqueta	13° 3'57.63"N	85°55'5.77"W	1260 m
Escuela La Hammonia	12°59'41.86"N	85°54'32.90"W	1215 m
Oficina ONG	12°55'47.35"N	85°54'57.34"W	694 m

Tabla 1 Coordenadas de sitios

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de los sitios de interés en un mapa de Google Earth.



Imagen 6 Ubicación de los sitios en Google Earth

Se tomaron datos de la cantidad de estudiantes de cada una de las escuelas, lo cual es un factor clave en la etapa de la selección del hardware a utilizar. También se consideraron las condiciones existentes para instalar en el área de las escuelas

la infraestructura mínima requerida, como el acceso a la energía eléctrica, espacio necesario para montar una torre ventada o un mástil para la instalación de los equipos, así como un lugar para instalar los mismos y las condiciones de seguridad y protección al polvo y a la lluvia que estos pudieran ofrecer, entre otros.

Escuela	Matrícula	Condiciones existentes	
		Outdoor	Indoor
Santa Enriqueta	21 estudiantes y 2 docentes	Sí	Requiere adecuación
La Hammonia	23 estudiantes y 2 docentes	Sí	Requiere adecuación

Tabla 2 Matrículas y condiciones en las escuelas

Se observó una topografía montañosa que imposibilitaba el uso de cualquier otra tecnología existente y accesible hasta ahora que no fuera entorno a la transmisión de datos de forma inalámbrica, por lo cual se hizo necesario diseñar toda una red de radioenlaces microondas para sortear estos obstáculos.

Se ingresaron en Google Earth las coordenadas de los sitios y se observó que no hay línea de vista entre las escuelas, tal como se comprobó en la visita de campo (ver *Imagen 7 y 8*).



Imagen 7 Perfil de elevación entre la ONG y la escuela Santa Enriqueta

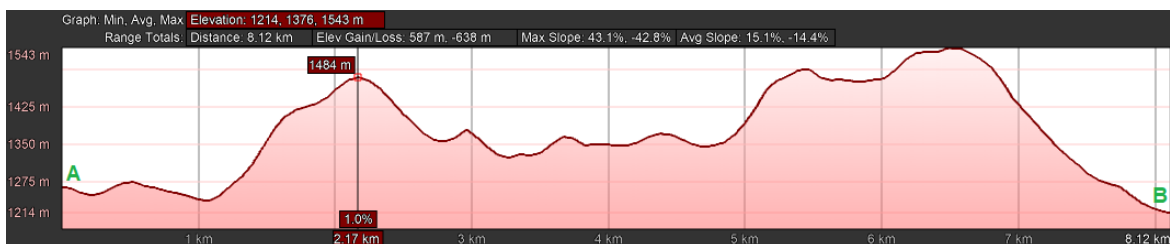


Imagen 8 Perfil de elevación entre la escuela Santa Enriqueta y La Hammonia

Se optó entonces por buscar un punto intermedio donde colocar un repetidor para así desplegar los enlaces hacia ambas escuelas. Se planteó la siguiente topología física (ver *Imagen 9*):

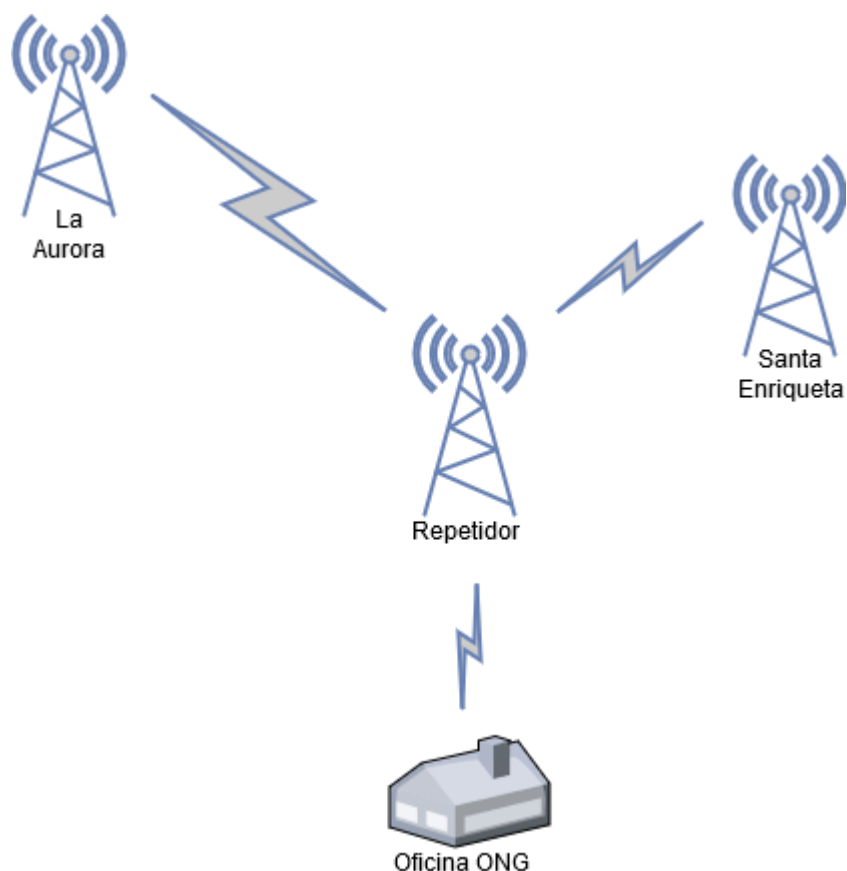


Imagen 9 Topología física propuesta para la red de radioenlaces

Con el objetivo de encontrar un punto repetidor, se consultó con el Gerente de Sistemas de la empresa de radiocomunicación Tecnología Inalámbrica S.A., Regi Delgadillo, cuya empresa opera en esta zona, sobre qué cerro -donde ya existiera una infraestructura de telecomunicaciones- se podría utilizar para este fin. También

se consultó con el área de Ingeniería de RF de Claro, y se obtuvieron los siguientes sitios propuestos:

Sitio	Latitud	Longitud	Altura de la torre
Cerro El Chimborazo	13° 02' 42.30" N	085° 58' 02.50" W	45 m
Cerro El Horno	13° 02' 32.03" N	085° 59' 11.07" W	25 m
Cerro Apante	12° 54' 36.82" N	85° 54' 30.79" W	25 m

Tabla 3 Sitios de repetición propuestos

Con la ayuda de Google Earth, se obtuvo la distancia aproximada entre los sitios propuestos como puntos de repetición y las escuelas, así como del sitio de repetición hacia la oficina, datos que son de vital importancia para el diseño de la red de radioenlace, lo cual se aprecia más detalladamente al momento de realizar las simulaciones (ver *Tabla 4*).

Sitio A	Sitio B	Distancia (Km)
Oficina ONG	El Horno	14.64
Oficina ONG	El Chimborazo	13.97
Oficina ONG	Apante	2.31
El Horno	Santa Enriqueta	7.84
El Horno	La Hammonia	9.88
El Chimborazo	Santa Enriqueta	5.80
El Chimborazo	La Hammonia	8.41
Apante	Santa Enriqueta	17.28
Apante	La Hammonia	9.37

Tabla 4 Sitios de repetición propuestos

Al observar los perfiles de elevación entre los sitios en cuestión, también con la ayuda de Google Earth, se aprecia una importante obstrucción entre la Oficina de la ONG y los cerros El Chimborazo y El Horno (ver *Imagen 10 y 11*), lo que imposibilita utilizar cualquiera de ellos como puntos de repetición.

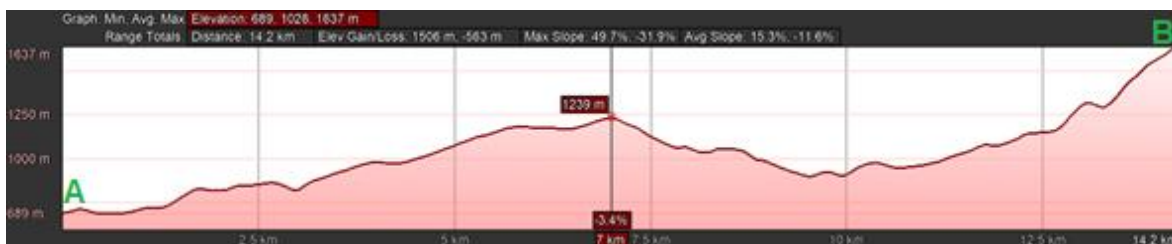


Imagen 10 Perfil de elevación oficina ONG – Cerro El Chimborazo



Imagen 11 Perfil de elevación Oficina ONG – Cerro El Horno

Al verificar si existía línea de vista con el cerro Apante, se obtuvieron resultados satisfactorios en los posibles enlaces con La Oficina y la escuela La Hammonia, sin embargo, no hay línea de vista con la escuela Santa Enriqueta, lo que aún hacía necesario encontrar otro punto repetidor en la zona, como se observa en las imágenes de abajo.

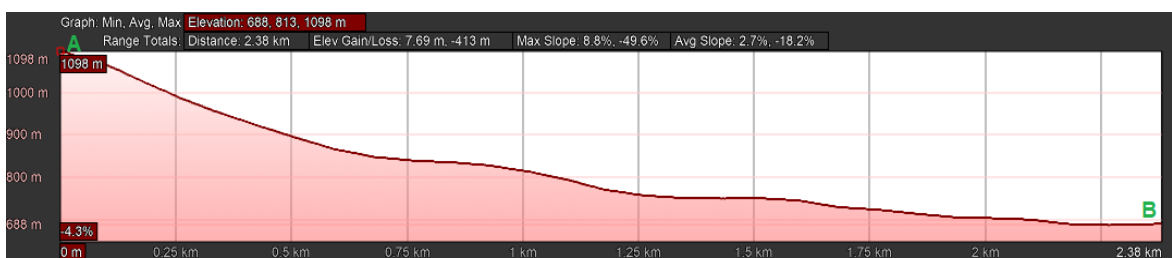


Imagen 12 Perfil de elevación Cerro Apante – Oficina ONG

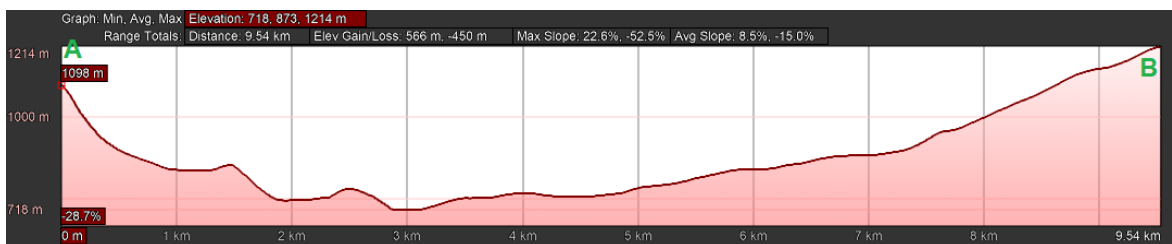


Imagen 13 Perfil de elevación Cerro Apante - La Hammonia



Imagen 14 Perfil de elevación Cerro Apante - Santa Enriqueta

La solución con el cerro Apante, para este caso, incrementa los costos por ser un enlace de mayor distancia (17.6 km) y por no eximir de la necesidad de un punto de repetición, y además aumenta los puntos de falla.

Lo anterior también se pudo comprobar al realizar las simulaciones en el software Radio Mobile, las cuales se mencionan más adelante en este documento.

Se realizó un segundo Site Survey el sábado 1 de septiembre, con el objetivo de explorar cerros o elevaciones en la zona que pudieran servir como puntos de repetición; realizar un levantamiento fotográfico y contactar con los propietarios o encargados de los sitios para asegurar la disponibilidad de los mismos para una posible implementación del proyecto.

Dentro de la misma área de la escuela La Hammonia, se identificó una elevación que podría servir como punto de repetición puesto que –según el perfil de elevación que se observó con la ayuda de Google Earth- existía línea de vista entre el repetidor y las dos escuelas (ver *Imagen 15 y 16*).

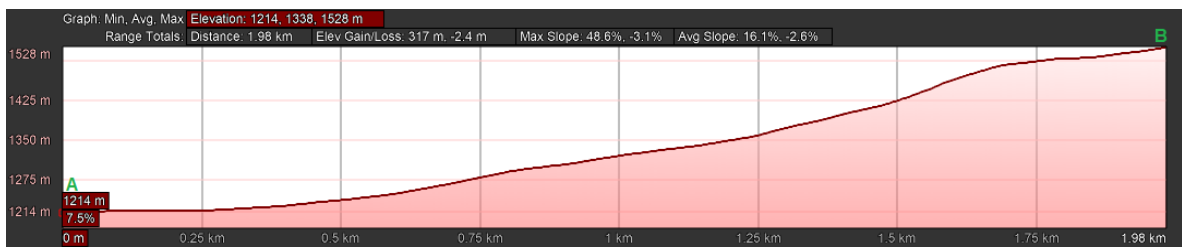


Imagen 15 Perfil de elevación La Hammonia – Repetidor



Imagen 16 Perfil de elevación Santa Enriqueta – Repetidor

En la *Tabla 5* se muestran las coordenadas del sitio Repetidor.

Sitio	Latitud	Longitud
Repetidor	13° 0' 27.66"N	85°53' 48.74"W

Tabla 5 Coordenadas de sitio Repetidor

También se observó que era posible desplegar un enlace entre la oficina y La Hammonia, obteniendo como resultado la siguiente topología física (ver *Imagen 17*):

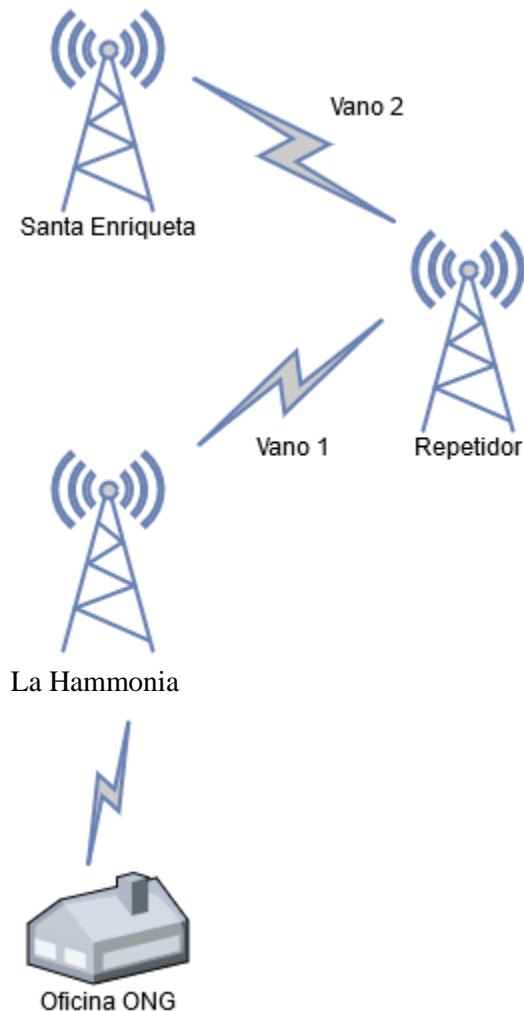


Imagen 17 Topología física para la red de radioenlaces

El punto repetidor no cuenta con energía comercial, por lo que se utilizará energía solar y se adecuará para albergar los equipos. Este tema se aborda con más detalle en el *Capítulo V: Selección de Hardware a Utilizar*.

Sobre el ISP que va a proporcionar el servicio de Internet, inicialmente se contemplaron las siguientes opciones:

- Adquirir el servicio de Internet directamente en el cerro desde donde se desplegará la red de radio enlaces: fue descartada debido a que el punto repetidor no cuenta con las condiciones favorables para este fin.

- Aumentar el ancho de banda del servicio actualmente contratado en la oficina de la ONG (que actualmente es de 2 Mbps) y conectar mediante radioenlace a la oficina con el punto de repetición.

Se optó por la propuesta que quedaba válida, pero con una variante, el enlace se desplegará inicialmente entre la oficina y La Hammonia, tal como se observa en la topología física seleccionada (ver *Imagen 17*).

Sin duda será necesario solicitar una ampliación de ancho de banda para la oficina, ya que lo contratado (2 Mbps) no es suficiente para abastecer a los tres sitios (Oficina, Santa Enriqueta y La Hammonia).

7 Capítulo II: Simulación de Radioenlace

Posterior al primer Site Survey, se ingresaron las coordenadas en el software Radio Mobile de los cinco sitios involucrados: Santa Enriqueta, La Hammonia, la oficina de la ONG, y los cerros El Chimborazo y El Horno.

Es indispensable seleccionar primeramente el sitio repetidor a utilizar, para ello, se realizaron simulaciones desde la Oficina hacia los sitios de repetición propuestos.

7.1 Ubicación de cada sitio

En el software Radio Mobile, se ingresan las coordenadas de cada uno de los sitios involucrados en la red, a como se muestra en la imagen siguiente:

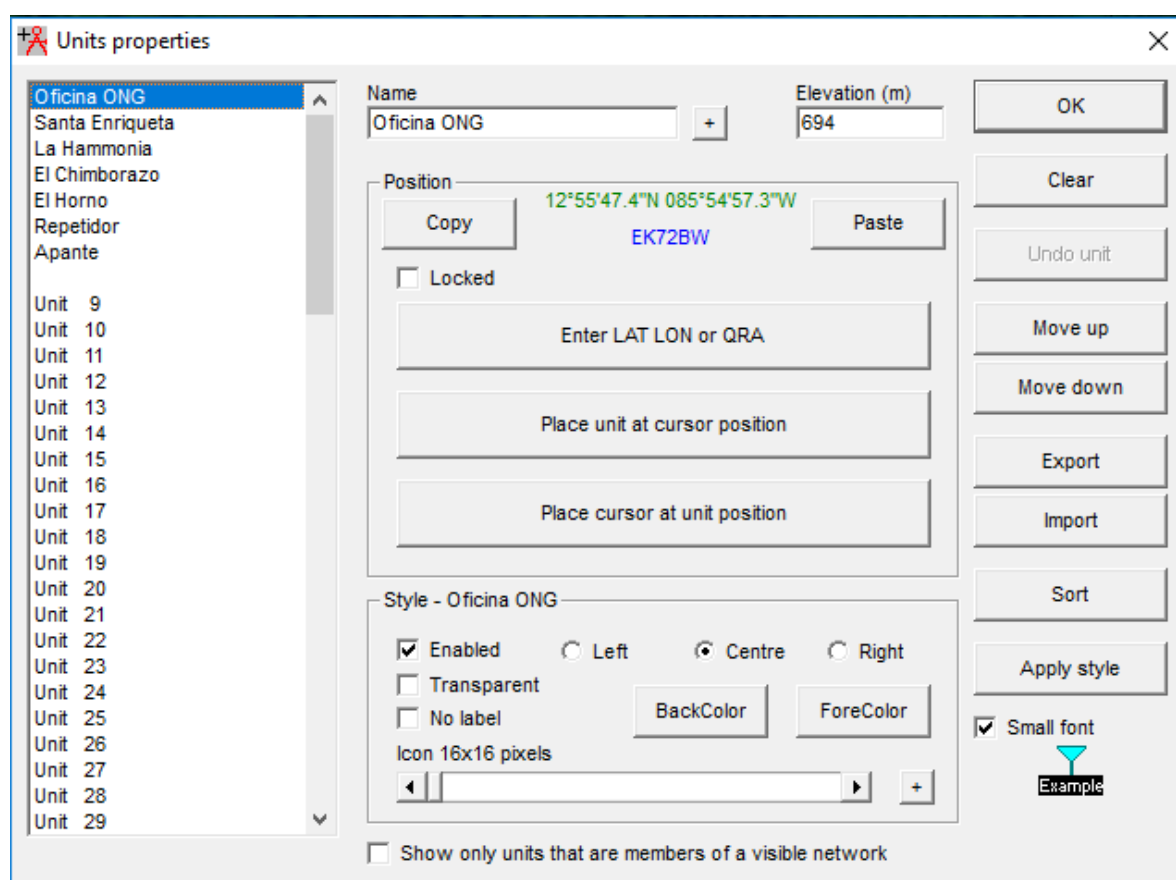


Imagen 18 Ubicación de cada sitio

7.2 Propiedades de la red

La frecuencia 5 GHz se compone de 4 bandas: 5.1, 5.3, 5.4 y 5.8 GHz; dando como resultado 24 canales no superpuestos separados por 20MHz, como se muestra en la siguiente imagen:

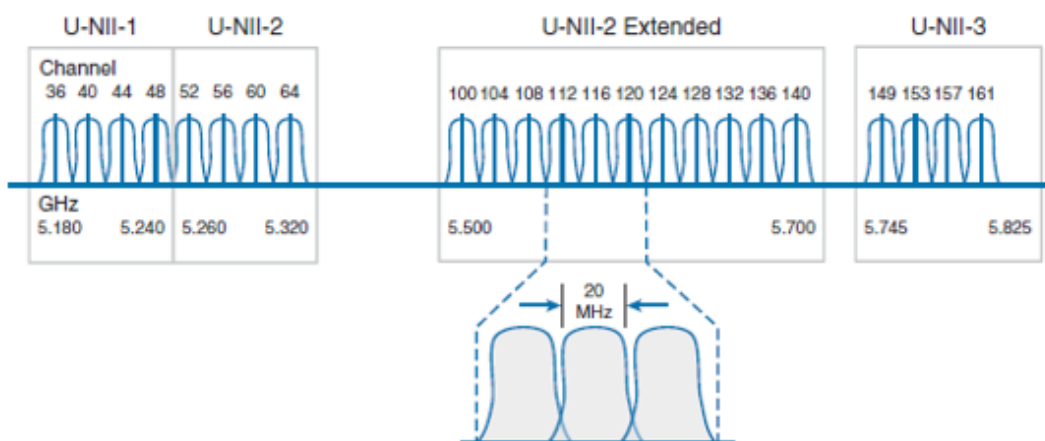


Imagen 19 Canales de frecuencia en la banda 5 GHz

En nuestro caso utilizaremos los canales 36, 40 y 44.

En el software, se ingresaron los canales de frecuencia a utilizar, se seleccionó el tipo de polarización vertical, refractividad de la superficie en 301N, clima sub-tropical, a como se muestra en la siguiente imagen:

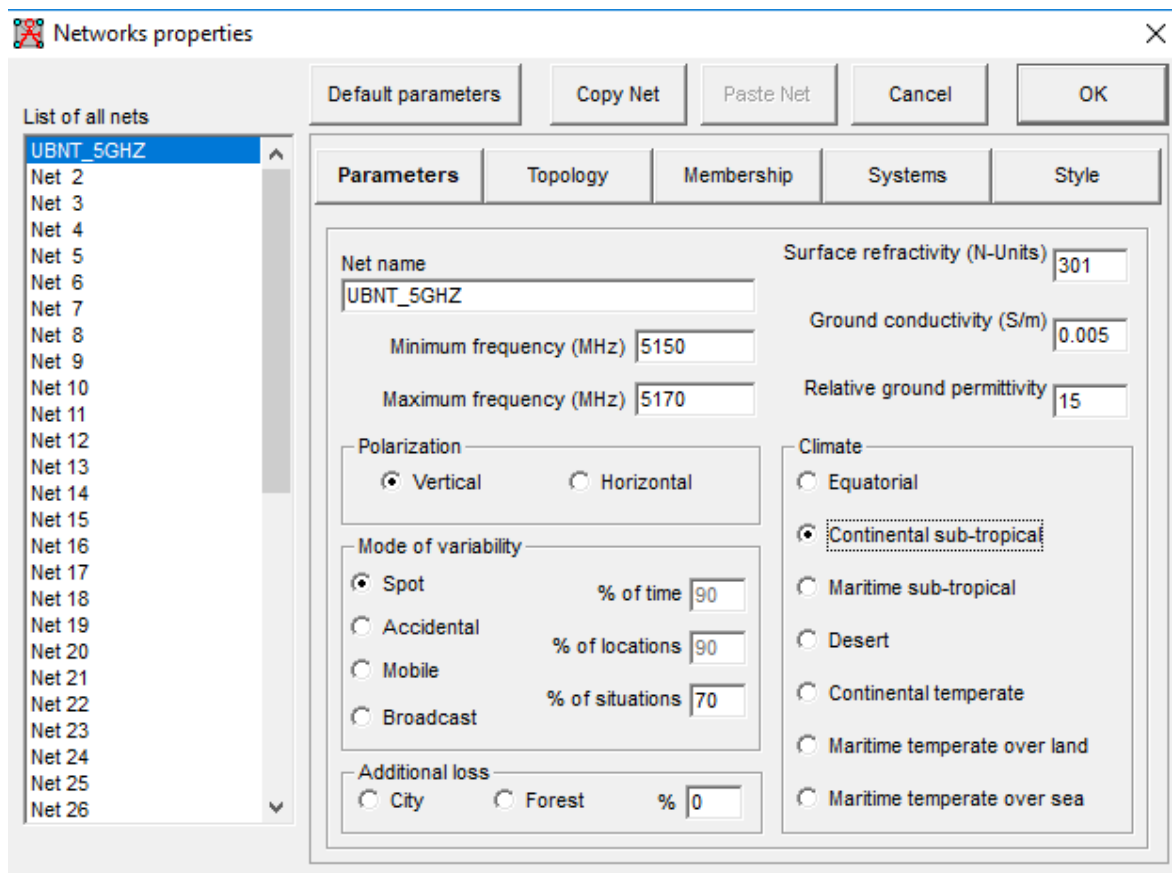


Imagen 20 Propiedades de la red de transmisión

Se seleccionaron los miembros de la red para cada vano y se definió la altura de los equipos en la torre, como se muestra en la siguiente imagen:

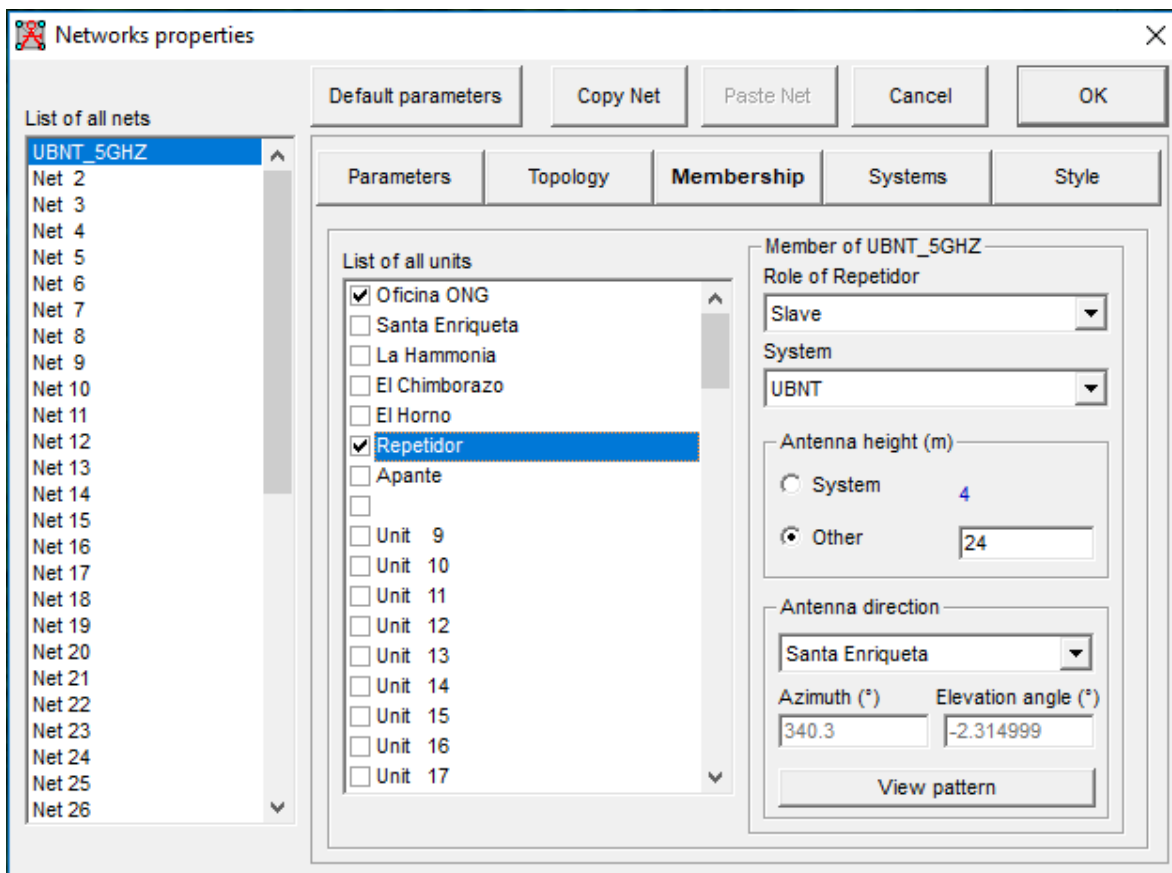


Imagen 21 Selección de miembros de la red

Se ingresaron los datos técnicos de cada uno de los equipos a utilizar, conforme a la hoja de datos. También se utilizaron los patrones de radiación proporcionados por el fabricante para las antenas (ver *Imagen 22*).

Networks properties

Default parameters Copy Net Paste Net Cancel OK

List of all systems

- UBNT
- Mobile
- HH-2m
- System 4
- System 5
- System 6
- System 7
- System 8
- System 9
- System 10
- System 11
- System 12
- System 13
- System 14
- System 15
- System 16
- System 17
- System 18
- System 19
- System 20
- System 21
- System 22
- System 23
- System 24
- System 25
- System 26

Parameters Topology Membership **Systems** Style

00 Select from VHF ... UHF ...

System name UBNT

Transmit power (Watt) 0.1995262 (dBm) 23

Receiver threshold (µV) 44.6684 (dBm) -74

Line loss (dB) 0 (Cable+cavities+connectors)

Antenna type PBE-M5-500-Hpol.ant View

Antenna gain (dBi) 22 (dBd) 19.85

Antenna height (m) 4 (Above ground)

Additional cable loss (dB/m) 0 (If antenna height differs)

Add to Radiosys.dat Remove from Radiosys.dat

Imagen 22 Propiedades del sistema

7.3 Simulación de Radioenlace con Cerro El Chimborazo como Punto de Repetición.

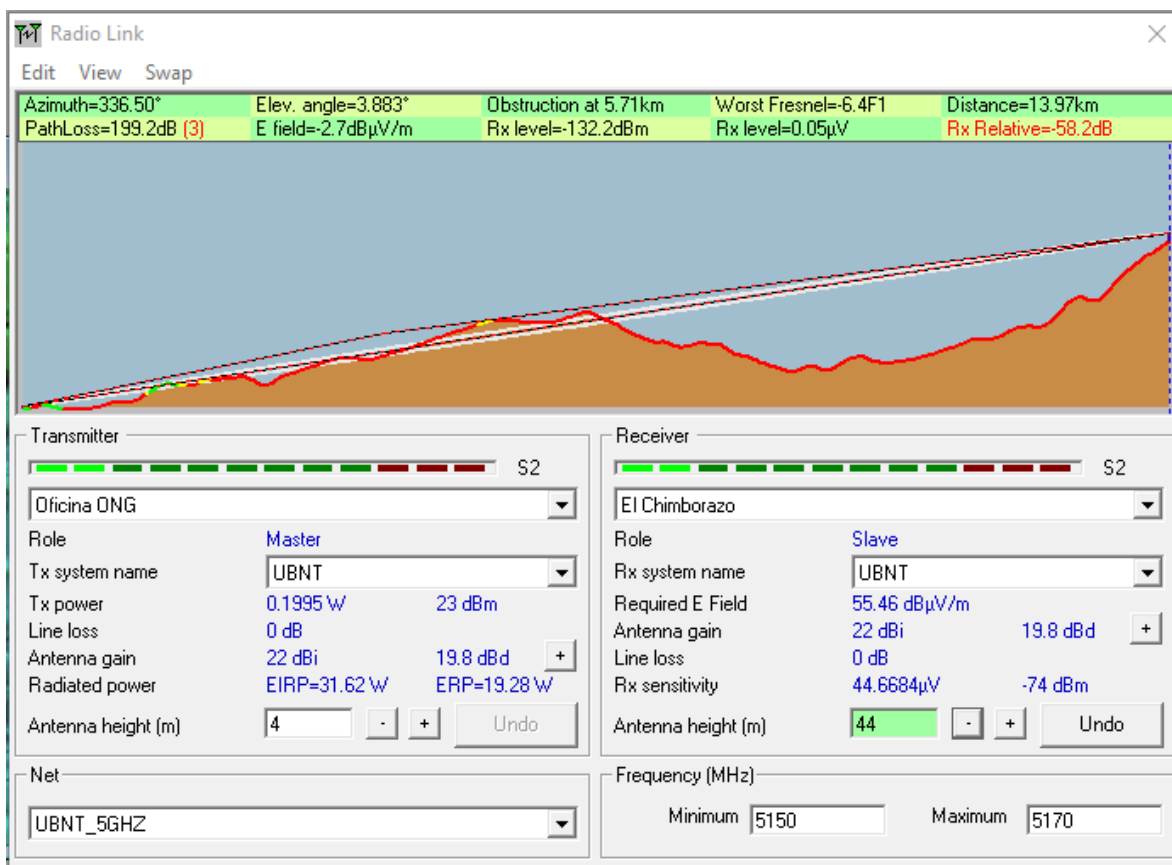


Imagen 23 Simulación de Radioenlace Oficina – Cerro El Chimborazo

7.4 Simulación de Radioenlace con Cerro El Horno como Punto de Repetición.

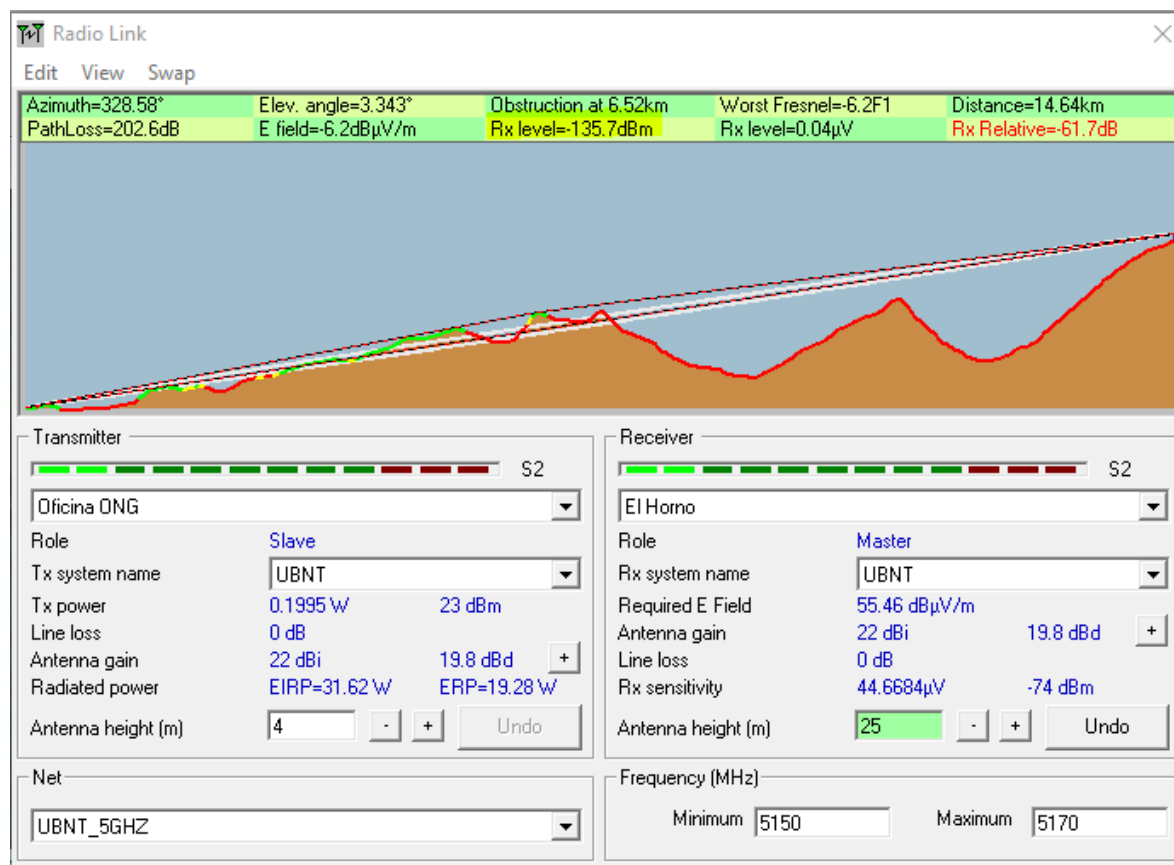


Imagen 24 Simulación de radioenlace Oficina – Cerro El Horno

Como se puede observar en las simulaciones de los radioenlaces, no hay línea de vista entre la oficina y los sitios de repetición El Horno y El Chimborazo.

El software nos indica que hay una obstrucción a 5.71 Km en el caso de la simulación entre la Oficina y el cerro El Chimborazo (ver *Imagen 23*) y una obstrucción a 6.52 Km en el caso de la simulación de la Oficina hacia el cerro El Horno (ver *Imagen 24*). También se observa que la recepción de señal (en inglés Rx level) sobrepasa el valor de sensibilidad máxima para que pueda darse el enlace, que, según datasheet de los equipos (ver *Anexos*), en el peor de los casos debe ser -96 dBm, sin embargo, este valor no se considera aceptable para la transferencia de importantes cantidades de datos. Se busca al menos un -70 a -72 dBm.

También se puede observar el porcentaje de despeje de la primera zona de fresnel, que en ambos casos sobrepasan con creces al límite de 60 % (0.6F1) de despeje requerido.

Se prosiguió a realizar las simulaciones con el sitio que se identificó en el segundo site survey realizado. A partir de este site survey también se determinaron las alturas de las torres a instalar.

En la *Imagen 25* se puede observar la simulación del enlace entre la Oficina y La Hammonia. Se obtienen parámetros satisfactorios.

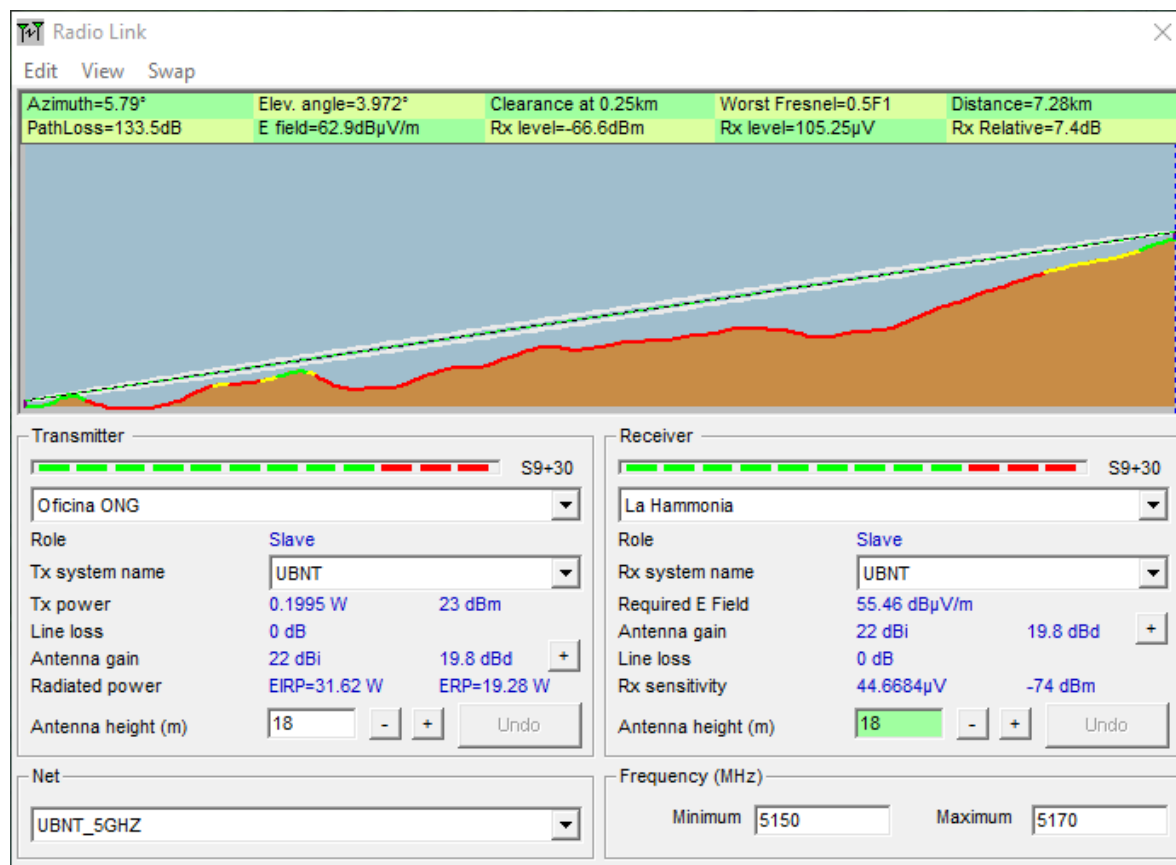


Imagen 25 Simulación de Radioenlace Oficina – La Hammonia

En la simulación de los radioenlaces entre La Hammonia y el sitio Repetidor (ver *Imagen 26*) y el Repetidor con la escuela Santa Enriqueta (ver *Imagen 27*) también se obtuvieron parámetros satisfactorios.

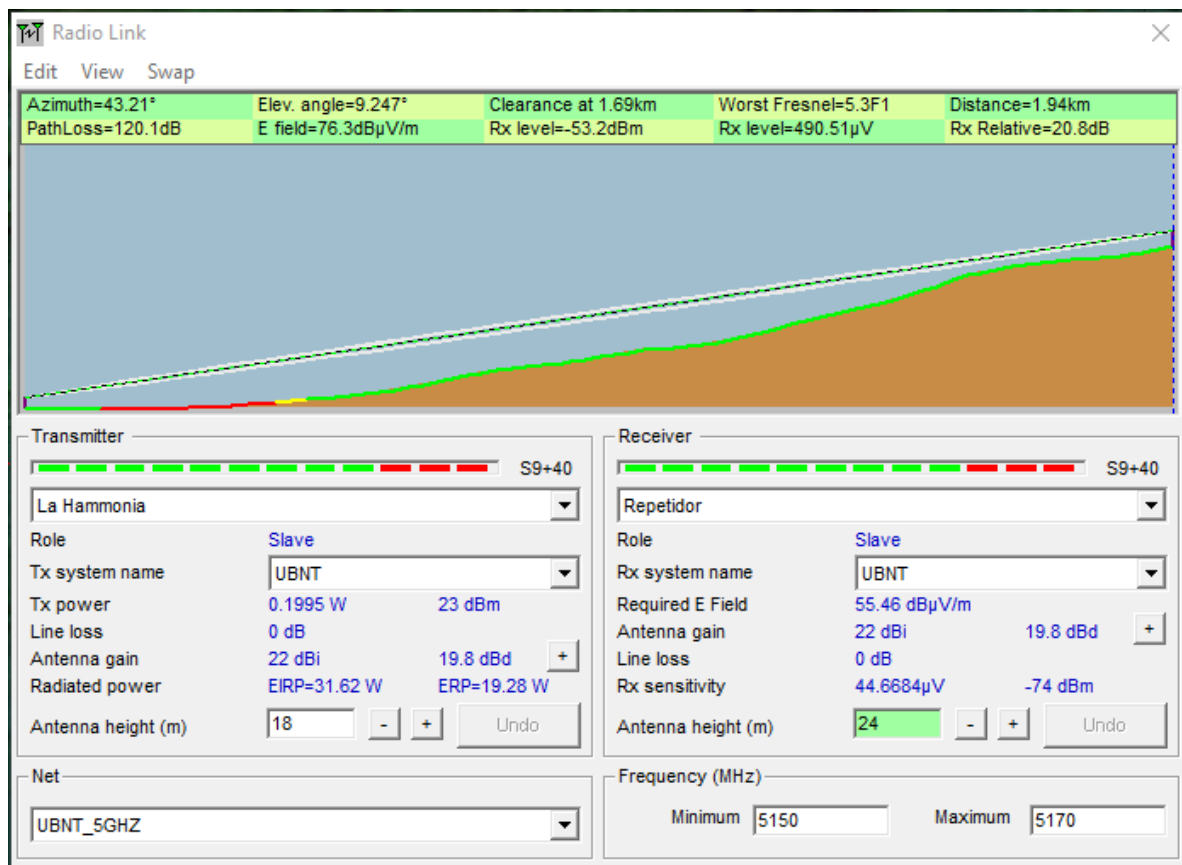


Imagen 26 Simulación de Radioenlace La Hammonia - Repetidor

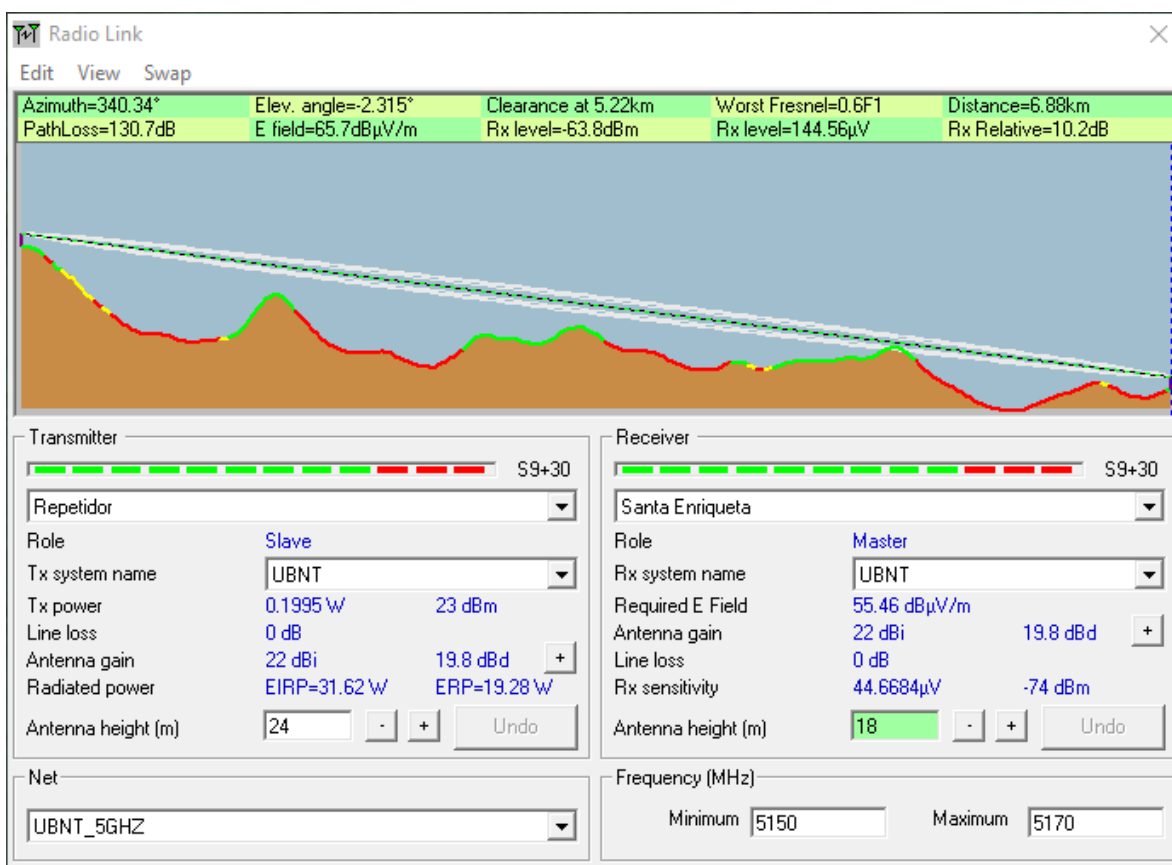


Imagen 27 Simulación de Radioenlace Repetidor – Santa Enriqueta

La distancia de los enlaces y las alturas de las torres quedarían conformadas según la siguiente tabla:

Enlace	Distancia (Km)	Altura de la torre (m)
Oficina – La Hammonia	7.28	18 - 18
La Hammonia - Repetidor	1.94	18 - 24
Repetidor – Santa Enriqueta	6.88	24 - 18

Tabla 6 Distancia de Enlaces

A como se pudo observar en las simulaciones realizadas, el Repetidor facilita enlazar ambas escuelas, y estas a su vez con la oficina de la ONG. Los equipos seleccionados serán abordados en el *Capítulo V: Selección de Hardware a Utilizar*.

8 Capítulo III: Creación y Fortalecimiento de Enlaces Locales

La ONG es el principal aliado de este proyecto. Gracias a sus gestiones, se logró establecer contacto con el personal responsable de la Finca La Hammonia, en Matagalpa, terreno donde se encuentra la escuela La Hammonia, para instalar el punto de repetición. También se facilitará al personal autorizado el acceso al sitio en caso de presentarse alguna falla.

En el siguiente diagrama, se muestra la relación que existe entre este proyecto, la ONG y la Comunidad, encontrándose esta última en el centro de ambos conjuntos, por tanto, este proyecto encuentra su viabilidad, auto sostenibilidad y fortaleza en la comunidad donde se desarrolla. El proyecto debe ser desarrollado en torno a la comunidad y no al contrario, considerando especialmente las condiciones de vulnerabilidad en términos de infraestructura y acceso terrestre en que se encuentran ambas escuelas rurales.

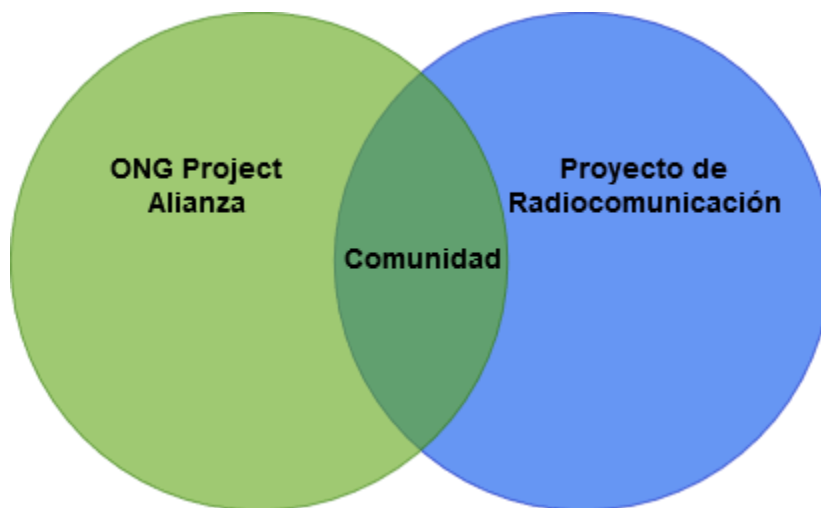


Imagen 28 Diagrama de Venn sobre Relación entre ONG y Proyecto

Se integra a las comunidades de la zona en el proyecto (en caso de que se decida implementar) en las siguientes tareas:

1. Control de inventario.
2. Costos administrativos.
3. Labores de mantenimiento preventivo y correctivo.
4. Identificación y resolución de problemas.

Como apoyo para realizar las labores previamente enumeradas, la ONG y la comunidad tendrán disponible el Manual de Usuario anexo a este documento. La ONG lleva varios años trabajando en conjunto con estas comunidades, ellos incluirán el proyecto a su dinámica actual.

Se contará con el apoyo de los maestros para retroalimentar y reportar su experiencia con el servicio, y tomar medidas correctivas en caso de ser requeridas si se decide implementar el proyecto.

Como responsables del diseño de proyecto, en caso de que se decida implementarse, seremos los encargados de la capacitación continua a los administradores locales de la red.

9 Capítulo IV: Diseño de Red de Datos

El diseño de la red de datos debe cumplir algunos requerimientos básicos para facilitar su despliegue, su operación y resolución de problemas:

- Conectividad WiFi en las escuelas.
- Robusta.
- Escalable.

Se instalará un router al que llamaremos Router Core en la oficina de la ONG. Este equipo soportará todo el tráfico de las otras dos escuelas y a su vez estará conectado al router proporcionado por el ISP, que nos dará salida a Internet.

En cada una de las escuelas se instalará un router WiFi, que proporcionará conexión inalámbrica a las Tablets y enrutará el tráfico hacia el Router Core. En cada una de las escuelas, y en la oficina, se instalará un switch no administrable, a los que hemos llamado Switch LAN, y se utilizarán para brindar conectividad cableada a las computadoras fijas. En el caso de las escuelas, este recurso estará disponible para la PC de la maestra o maestro, y para una integración futura de computadoras.

En el repetidor se instalará un switch administrable, no se ha contemplado la instalación de un router ya que en este sitio solo estarán los radios y funcionará como un puente entre la escuela Santa Enriqueta y el resto de la red.

9.1 IP Planning

Se diseñó un IP Planning que –en este caso- no va necesariamente enfocado al mejor aprovechamiento de IP's o sub-redes privadas disponibles, para lo cual no hay una necesidad directa en este proyecto, sino va enfocado a facilitar el proceso de comprensión de la red, análisis para la resolución de fallas y ser amigable para los administradores locales.

Se definieron tres tipos de tráfico y se separaron en VLAN distintas:

- VLAN 10, 20 y 30: VLAN de red LAN oficina y las dos escuelas.
- VLAN 40: VLAN de Administración de radios.
- VLAN 50: VLAN de Administración de Routers y Switches.

En la *Tabla 7* se muestra el IP Planning propuesto para la red de datos:

VLAN	NOMBRE	RED	MASCARA	PUERTA DE ENLACE	HOST	BROADCAST
10	LAN_OFICINA	192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.1.1	192.168.1.2 - 254	192.168.1.255
20	LAN_HAMMONIA	192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.2.1	192.168.2.2 - 254	192.168.2.255
30	LAN_STAENRIQUETA	192.168.3.0	255.255.255.0	192.168.3.1	192.168.3.2 - 254	192.168.3.255
40	ADMIN_RADIOS	172.21.1.0	255.255.255.0	172.21.1.1	172.21.1.2 - 254	172.21.1.255
50	ADMIN_DX	172.20.0.0	255.255.255.0	172.20.0.1	172.20.0.2 - 254	172.20.0.255

Tabla 7 IP Planning Propuesto para la Red de Datos

En la *Imagen 29* se muestra un diagrama de la topología lógica diseñada para este proyecto.

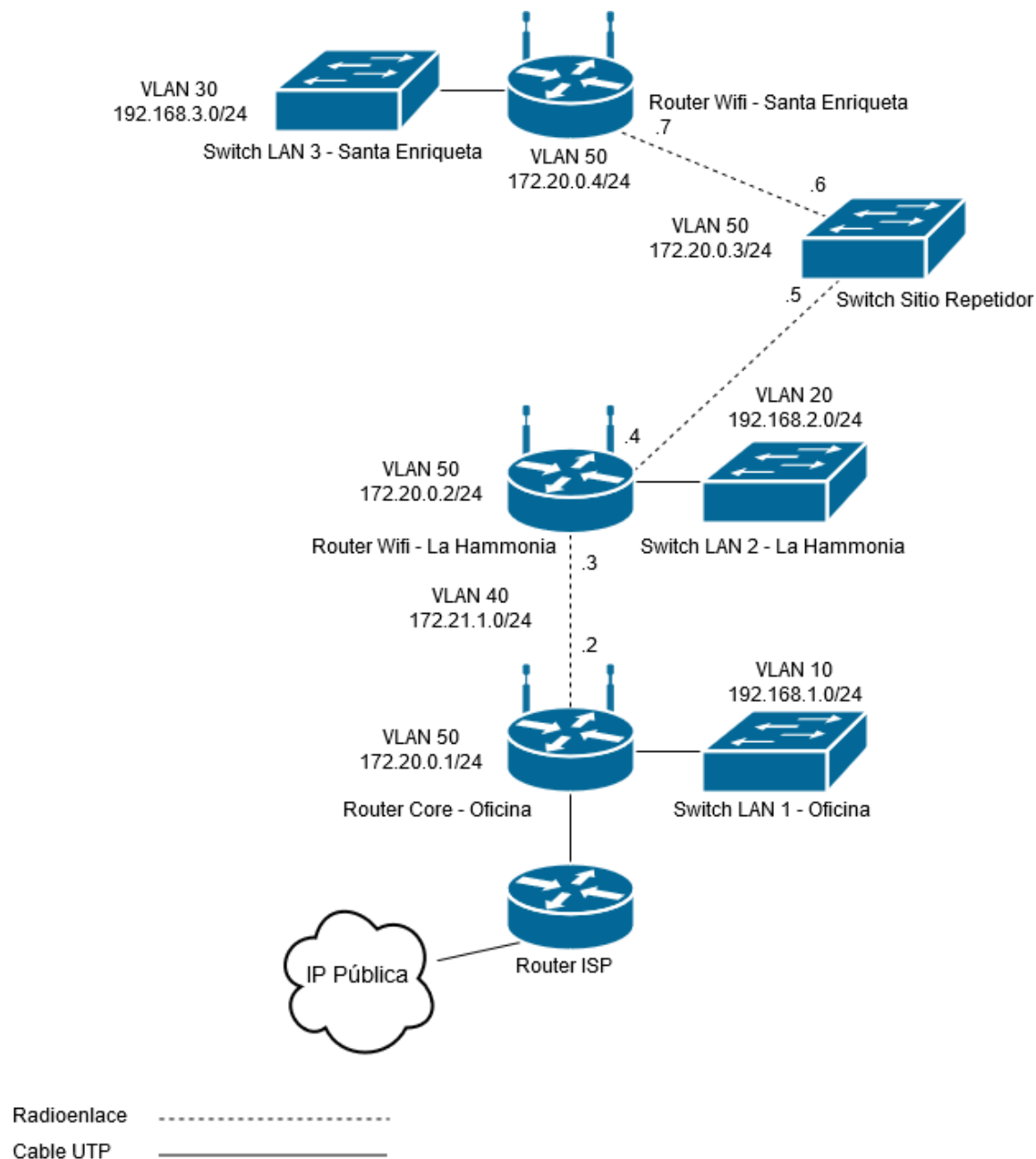


Imagen 29 Topología Lógica de Red de Datos

10 Capítulo V: Selección de Hardware a Utilizar

10.1 Radioenlaces

Para los radioenlaces, en base a las distancias entre los sitios, y a la presencia de los mismos en el mercado nacional, se seleccionaron equipos del fabricante Ubiquiti.

Para el radioenlace Oficina – La Hammonia y Repetidor – Santa Enriqueta, por ser los enlaces de mayor distancia y además deben soportar una mayor cantidad de tráfico (en el caso del enlace Oficina – La Hammonia), se seleccionaron los siguientes equipos:

Ubiquiti PowerBeam 5AC 500 (PBE-5AC-500) (ver *Tabla 8* e *Imagen 30*), el cual cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

PBE-5AC-500	
Dimensiones (Radón incluido)	525 x 525 x 315 mm (20.67 x 20.67 x 12.40")
Peso	3.15 kg (6.95 lb)
Fuente de energía	24V, 0.5 Gigabit PoE ⁹
Potencia máxima consumida	8.5W
Rango de voltaje soportado	20-26VDC
Frecuencia	5150 – 5875 MHz
Ganancia	27dBi
Interface de red	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Procesador	Atheros MIPS 74Kc, 720 MHz
Memoria	128 MB DDR2, 16 MB Flash
Resistencia al viento	96 km/h (60 mph)
Potencia de salida	24 dBm

⁹ Power Over Ethernet – Potencia sobre Ethernet

Rango teórico	25 km
Throughput teórico	450 Mbps

Tabla 8 Especificaciones técnicas de equipo PBE-5AC-500



Imagen 30 Ubiquiti PBE-5AC-500

Para el radioenlace entre La Hammonia y el Repetidor, por ser un enlace de menor distancia (menor a 2 km), se ha seleccionado el Ubiquiti Nanostation 5AC (NS-5AC) (ver *Imagen 31*), esto sin descuidar la capacidad teórica de throughput¹⁰ del equipo, puesto que de usarse un equipo que soporte un bajísimo tráfico, aunque pueda ofrecernos excelentes resultados a nivel de enlace, puede ocasionarnos una especie de “cuello de botella” para la escuela Santa Enriqueta.

En la *Tabla 9* se muestran las especificaciones técnicas del equipo:

NS-5AC	
Dimensiones	257 x 84 x 30 mm (10.12 x 3.31 x 1.18")
Peso	233 g (8.22) oz
Fuente de energía	24V, 0.5 Gigabit PoE
Potencia máxima consumida	8.5W
Frecuencia	5150 – 5875 MHz
Ganancia	16dBi
Interface de red	(2) 10/100/1000 Ethernet Port

¹⁰ Throughput – Tasa de transferencia neta (velocidad de subida más velocidad de descarga)

Procesador	Atheros MIPS 74Kc, 560 MHz
Memoria	64 MB DDR2
Potencia de salida	25 dBm
Rango teórico	15 km
Throughput teórico	450 Mbps

Tabla 9 Especificaciones técnicas de equipo NS-5AC



Imagen 31 Ubiquiti NS-5AC

10.2 Red de Datos

Para la red de datos de este proyecto, se utilizarán los siguientes equipos:

- **Router Core (Oficina):**

Router marca Mikrotik modelo RB2011UiAS-2HnD-IN que cuenta con 5 puertos FastEthernet (100 Mbps) y 5 puertos GigabitEthernet (1000 Mbps), un CPU a 600 MHz y 128 Mb de RAM, WiFi, un consumo de potencia máximo de 5W y además cuenta con la licencia RouterOS nivel 5 de Mikrotik que permite un gran número de funciones avanzadas que se pueden encontrar en equipos de otros fabricantes, pero a un costo económico mucho más alto. A continuación, figura ilustrativa (ver *Imagen 32*) del Router:

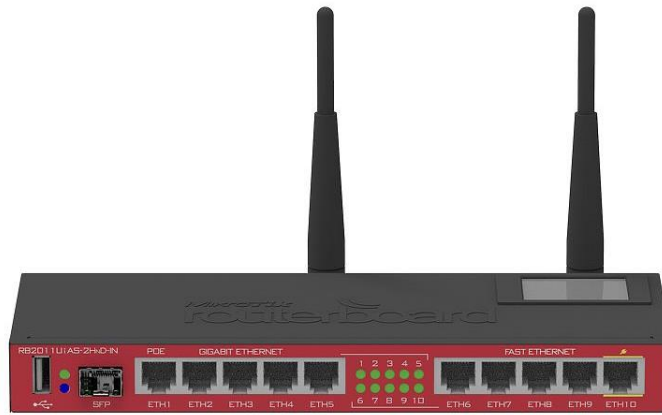


Imagen 32 Router Mikrotik modelo RB2011UiAS-2HnD-IN

- **Router WiFi (La Hammonia y Santa Enriqueta):**

Se utilizará el equipo marca Mikrotik modelo RB951G-2HnD que cuenta con cinco puertos Gigabit Ethernet (1000 Mbps), un CPU a 600 MHz y 128 Mb de RAM, WiFi, un consumo de potencia máximo de 7W y además cuenta con la licencia RouterOS nivel 4 de Mikrotik que permite un gran número de funciones. A continuación, figura ilustrativa (ver *Imagen 33*) del Router:



Imagen 33 Router Mikrotik modelo RB951G-2HnD

- Switch LAN no administrable (Oficina, La Hammonia y Santa Enriqueta):

Se utilizará el equipo marca Nexxt, modelo Naxos 1600R que cuenta con 16 puertos FastEthernet (100 Mbps). A continuación, imagen del equipo (ver *Imagen 34*):



Imagen 34 switch Nexxt modelo Naxos 1600R

- Switch Administrable (Repetidor):

En el caso del equipo que se instalará en el Repetidor, se requiere un Switch administrable, es decir, un equipo al que se pueda acceder remotamente para realizar revisiones o cambios sin tener que ir al sitio, también que tenga ciertas características básicas como la capacidad para manejar VLAN. Para esto se seleccionó el equipo marca Mikrotik, modelo RB260GS, que cuenta con cinco puertos GigabitEthernet (1 Gbps), trabaja en un rango de voltaje de 8 a 30 VDC y un consumo máximo de potencia de 5W. A continuación, se muestra una imagen del equipo (ver *Imagen 35*).



Imagen 35 Switch Mikrotik modelo RB260GS

10.3 Sistema de Energía Fotovoltaico

El sitio Repetidor no cuenta con energía de la red comercial, se instalará un sistema de energía fotovoltaico. Para seleccionar los equipos a utilizar, se realizaron los siguientes cálculos:

10.3.1 Inventario de Equipos

Primeramente, es necesario conocer los equipos que estarán instalados en el Repetidor y la cantidad de tiempo que estarán encendidos al día, datos que se muestran en la siguiente tabla:

Equipo	Potencia	Tiempo encendido por día
Switch Mikrotik modelo RB260GS	5 W	8 horas
Radio Ubiquiti NS-5AC	8.5 W	
Radio Ubiquiti PBE-5AC-500	8.5 W	

Tabla 10 Inventario de equipos y potencia en sitio Repetidor

En total el sitio Repetidor tendrá un consumo de 22 W, multiplicado por las 8 horas diarias (en el peor de los casos) se obtiene como resultado 176 W/d de potencia consumida.

Por tanto, la potencia total (P_T) que deben suplir los paneles por día:

$$P_T = 176 \text{ W/d}$$

Con ayuda de la página web de la NASA [13], ingresando las coordenadas del sitio, se encontró el tiempo promedio de sol (isolación solar) por día en invierno (mayo – noviembre), usando como referencia el año 2017.

En la siguiente imagen se muestra gráfica con los valores de isolación solar por día. Se exportaron los datos a una hoja de cálculo y se obtuvo el valor promedio.

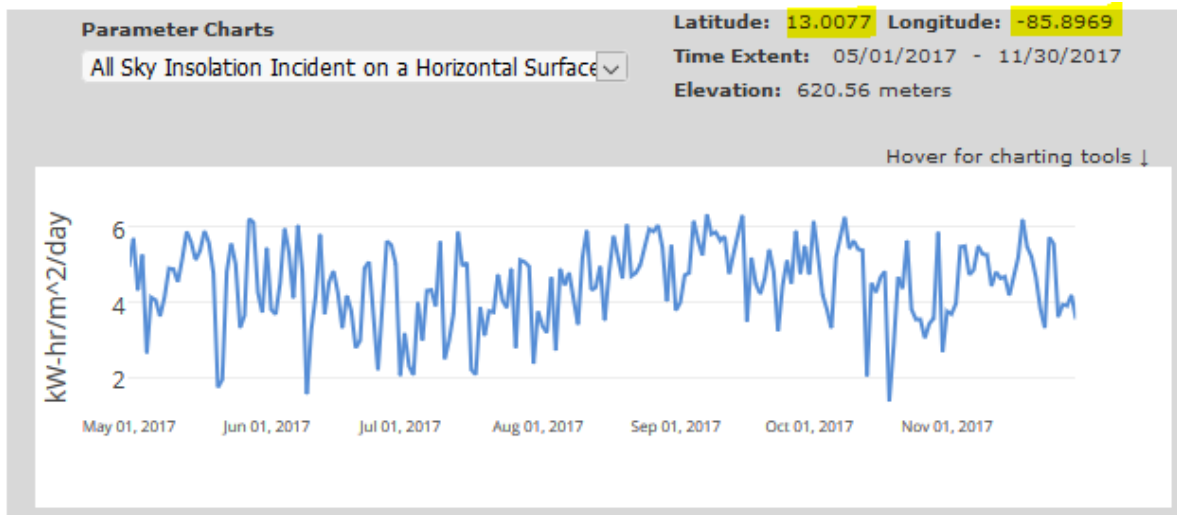


Imagen 36 Datos de isolación solar por día en invierno

Para calcular el arreglo de paneles necesario, se aplica la siguiente fórmula:

$$P_G = \frac{P_T}{I_s}$$

$$P_G = \frac{176 \text{ W/d}}{4.49 \text{ h}}$$

$$P_G = 39.19 \text{ W}$$

Por tanto, con un panel solar tipo monocristalino (por su mayor eficiencia) de 50 W debería ser suficiente, pero no es recomendable adquirir un producto con parámetros ajustados a las necesidades actuales, puesto que cualquier cambio o mejora, la depreciación del producto por el tiempo, o bien la alteración mínima de una de las variables, podría ser algo catastrófico para todo el sistema, por lo cual se recomienda un panel solar de tipo monocristalino de 80 W de potencia.

En la *Imagen 37* se muestra el panel solar a utilizar.



Imagen 37 Panel Solar 12V 80 Watts

10.3.2 Banco de baterías

El banco de baterías se debe seleccionar previendo el peor de los casos donde por una cantidad de días determinados no haya suficiente isolación solar para generar la potencia necesaria.

Debido a que las baterías de ciclo profundo no pueden descargarse a más del 50 %, la carga total a almacenar debe multiplicarse por dos.

$$\text{Banco de baterías} = (P_T * \text{días sin sol}) * 2$$

$$\text{Banco de baterías} = (176 \text{ W/d} * 2d) * 2$$

$$\text{Banco de baterías} = 704 \text{ W}$$

Para convertir los Watts en Ah (amperios por hora), que es la unidad de medida de las baterías, se divide la Potencia Total (P_T) consumida por día, entre el voltaje de las baterías. Por lo general las baterías para los sistemas fotovoltaicos se encuentra en 6 y 12 V, se hacen conexiones en serie para sumar los voltajes o en paralelo para sumar la intensidad, y una combinación de ambas según se requiera. Se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Banco de baterías (Ah)} = \frac{704W}{12V}$$

$$\text{Banco de baterías (Ah)} = 58\text{Ah}$$

Según las baterías disponibles en el mercado, podemos utilizar una sola batería o bien hacer un arreglo de baterías. Para este proyecto usaremos una batería de 85 Ah de Gel. En la *Imagen 38* se muestra la batería a utilizar.



Imagen 38 Batería Trojan 12V 85AH

10.3.3 Controlador de carga

Para seleccionar el controlador de carga más apropiado para el sistema fotovoltaico, se tiene que tener en cuenta que este debe tolerar la intensidad máxima del arreglo de paneles solares. La intensidad máxima del panel solar, si no viene dada de forma específica en la ficha técnica del fabricante, se puede calcular dividiendo la potencia del arreglo de paneles solares entre el voltaje del banco de baterías.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{80\text{ W}}{12\text{ V}}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 6.6\text{ A}$$

Por tanto, se requiere un controlador de carga con la capacidad de manejar hasta 6.6 A de intensidad. Siempre se recomienda seleccionar uno con un poco más de capacidad por condiciones anteriormente mencionadas.

Para este proyecto se utilizará el controlador del fabricante Steca, modelo LS1024EU. En la *Imagen 39* se muestra el equipo a utilizar:



Imagen 39 controlador de carga Steca LS1024EU

10.3.4 Inversor

Debido a que los equipos a utilizar funcionan en 120 Vac, para este proyecto se utilizará el inversor del fabricante Samlex, modelo SAM-250-12 (ver *Imagen 40*).



Imagen 40 inversor Samlex SAM-250-12

11 Capítulo VI: Presupuesto

En la *Tabla 11*, se presenta el costo total estimado del proyecto en caso de que llegase a implementarse. En el *Anexo 3* se incluyen las cotizaciones y proformas.

Cant.	Equipo	Descripción	P. Unitario	Total
1	Router Mikrotik RB2011UiAS-2HnD-IN	Router Core	\$ 173.35	\$ 173.35
2	Router Mikrotik RB951G-2HnD	Router WiFi	\$ 134.55	\$ 269.1
3	Switch Nexxt 16 puertos modelo Naxos 1600R	Switch LAN	\$ 44.79	\$ 134.37
1	Switch Mikrotik RB260GS	Switch LAN Administrable	\$ 111.86	\$ 111.86
2	Radio Ubiquiti NS-5AC	Vano 2	\$ 166.00	\$ 332
2	Radio Ubiquiti PBE-5AC-500	Vano 1	\$ 208.63	\$ 417.26
50 m	Cable UTP Cat5e		\$ 0.50	\$ 25
100 m	Cable UTP Cat5e para exteriores		\$ 0.60	\$ 60
6	Protector Ubiquiti contra descargas eléctricas		\$ 19.1	\$ 114.6
1	Panel Solar Monocristalino 80W	Sitio repetidor	\$ 55	\$ 55
1	Steca Solsum F 8.8F	Controlador de carga	\$ 17	\$ 17
1	Inversor Samlex SAM-250-12	Inversor	\$ 27	\$ 27
1	Batería Trojan 12V 85AH Ciclo Profundo	Batería para sitio solar	\$ 125	\$ 125
1	Construcción e instalación de torre ventada 80 pies para sitio Repetidor	Torre para radio	\$ 2,800	\$ 2,800
3	Construcción e instalación de torre ventada 60 pies para sitios Oficina, La Hammonia y Santa Enriqueta	Torre para radio	\$ 2,000	\$ 6,000
			Total	\$ 10,661.54

Tabla 11 Presupuesto

12 Capítulo VII: Elaboración de manual para la resolución de problemas

En las zonas rurales, generalmente no se cuenta con personal capacitado para dar mantenimiento, escalar tecnología, o resolver problemas que se presenten. Muchas veces se tiene que llamar a un departamento técnico que puede tardar hasta días en llegar, y esto incurre en costos adicionales.

En esta fase se realiza el diseño de un manual de resolución de problemas que, aprovechando el orden y el diseño detallado y segmentado del proyecto, puede dotar a personal de la zona, con mínima o incluso nula capacitación en el tema, la capacidad de resolver problemas comunes o menores, reduciendo considerablemente tiempos de respuesta y costos económicos.

El manual se incluye en el *Anexo 1* de este documento.

13 Conclusiones

Con este trabajo monográfico, se logró diseñar una red que permitirá conectar con las herramientas del siglo XXI a dos escuelas rurales, Santa Enriqueta y La Hammonia, en los Departamentos de Jinotega y Matagalpa, con el fin de lograr un impacto positivo para la educación, complementando de manera transcendental el programa tecnológico en desarrollo.

A pesar de las limitaciones en infraestructura de telecomunicaciones, se logró demostrar la viabilidad de desplegar la red de transmisión por radioenlaces hacia las escuelas, con tecnología WiFi, respaldadas con simulación por software, si bien Radio Mobile no ofrece las características más completas del mercado, es un software de uso libre con suficiente solides teórica para los fines aquí planteados.

Se determinaron las topologías de red de datos más óptimas, económicas y escalables, que además facilitan la comprensión, identificación y resolución de problemas por parte de los futuros administradores locales. Se optó por el fabricante Ubiquiti para los equipos de radio, y los fabricantes Mikrotik y Lynksys para los equipos que conforman la red de datos.

Se concluyó con un Manual de Resolución de Problemas orientado a los posibles administradores de la red menos experimentados, de conocimientos básicos o recién adquiridos, que agiliza la resolución de problemas y reduce costos de soporte externo, además genera confianza y seguridad al plantearse la administración del mismo si este fuese implementado.

14 Recomendaciones

- Ampliar el ancho de banda contratado en la oficina a al menos 20 Mbps para garantizar a cada escuela unos 8 Mbps, y al menos 4 Mbps para la oficina.
- Solicitar se aplique en los equipos de la red de datos configuración para limitar el ancho de banda para cada una de las escuelas y la oficina, así como políticas de calidad de servicio para hacer un uso más eficiente del recurso.
- Adquirir software de monitoreo de red en tiempo real para facilitar la detección de fallas y reducir los tiempos de respuesta ante las mismas.
- Solicitar asesoría técnica a los diseñadores del proyecto en el caso de que se decida implementarse.
- Solicitar asesoría especializada para la instalación, mantenimiento y reparación del sistema fotovoltaico.
- Instalar pararrayos en el mástil y en las torres de comunicación y polarizar a tierra los radios para evitar se dañen por descargas eléctricas, como el que se muestra en *Anexo 3*.
- Leer detenidamente el Manual de Resolución de Problemas antes de intentar resolver cualquier inconveniente por su cuenta.
- Programar mantenimientos preventivos al menos cada 6 meses para los equipos y las torres de comunicaciones con un servicio externo especializado.

15 Bibliografía

- [1] E. Rojas, L. Poveda y N. Grimblatt, “Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2016,” 2016. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40528/6/S1601049_es.pdf. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [2] “Project Alianza,” [En línea]. Disponible en: <http://www.projectalianza.org/>. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [3] Deloitte, “Value of Connectivity. Economic and social benefits of expanding internet access,” 2014. [En línea]. Disponible en: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ie/Documents/TechnologyMediaCommunications/2014_uk_tmt_value_of_connectivity_deloitte_ireland.pdf. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [4] B. Juárez, y J. Vivas, “Diseño de Radioenlace Multipunto para proporcionar Internet a 5 escuelas del municipio Wiwilí - Nueva Segovia”, tesis de pregrado, UNI, Managua, Nicaragua, 2017.
- [5] L. Navarrete, y S. Zambrana, “Diseño de una red de servicio de internet para la comunidad de Sabana Grande, Departamento de Madriz”, tesis de pregrado, UNI, Managua, Nicaragua, 2016.
- [6] Gaitán, “Diseño de red LAN y radio enlace por microondas para acceso a Internet en la escuela de la comunidad El Coyolito del departamento de Estelí”, UNI, Managua, Nicaragua, 2014.
- [7] J. Unger, “Deploying License-Free Wireless Wide-Area Networks,” 2003. [En línea]. Disponible en: <https://docstore.mik.ua/cisco/pdf/other/Cisco.Press.Deploying.License-Free.Wireless.Wide-Area.Networks.eBook-kB.pdf>. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [8] E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj y H. Poor, MIMO Wireless Communications, New York, United States of America: Cambridge University Press, 2009.
- [9] G. Maral, VSAT Networks, Toulouse, Francia. [En línea]. Disponible en: <http://index-of.co.uk/Networking/John%20Wiley%20&%20Sons%20-%20VSAT%20Networks.pdf>. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [10] P. García, “Manual de uso de Radio Mobile,” 2006. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/Anexo%2016.pdf>. [Último acceso: 22 octubre 2018].

- [11] "airMAX Solar Powered Tower," 21 Noviembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://help.ubnt.com/hc/en-us/articles/204952184-airMAX-Solar-Powered-Tower>. [Último acceso: 18 diciembre 2018].
- [12] "Baterías para sistemas solares y eólicos," 2018. [En línea]. Disponible en: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>. [Último acceso: 18 diciembre 2018].
- [13] NASA, "Prediction Of Worldwide Energy Resource," [En línea]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Último acceso: 7 enero 2019].
- [14] W. Odom, Cisco CCNA Routing and Switching 200-120 Official CertGuide, Cisco Press, 2013.
- [15] "Conceptos básicos de Metodología de la Investigación," 2010. [En línea]. Disponible en: <http://metodologia02.blogspot.com/p/operacionalizacion-de-variables.html>. [Último acceso: 06 noviembre 2018].
- [16] D. W. Bliss y K. W. Forsythe y A. M. Chan, "MIMO Wireless Communication," Lincoln Laboratory Journal, vol. 15, nº 1, pp. 97-126, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a1b8/7a6f129865362c2d7daee24f65a95a88d1d0.pdf>. [Último acceso: 22 octubre 2018].
- [17] D. Bermúdez y C. Zúniga, "Las tecnologías de información y comunicación (TIC) como respuesta a necesidades educativas en las zonas rurales de Nicaragua," Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, vol. 2, nº 4, pp. 563-574, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/208>. [Último acceso: 22 octubre 2018].

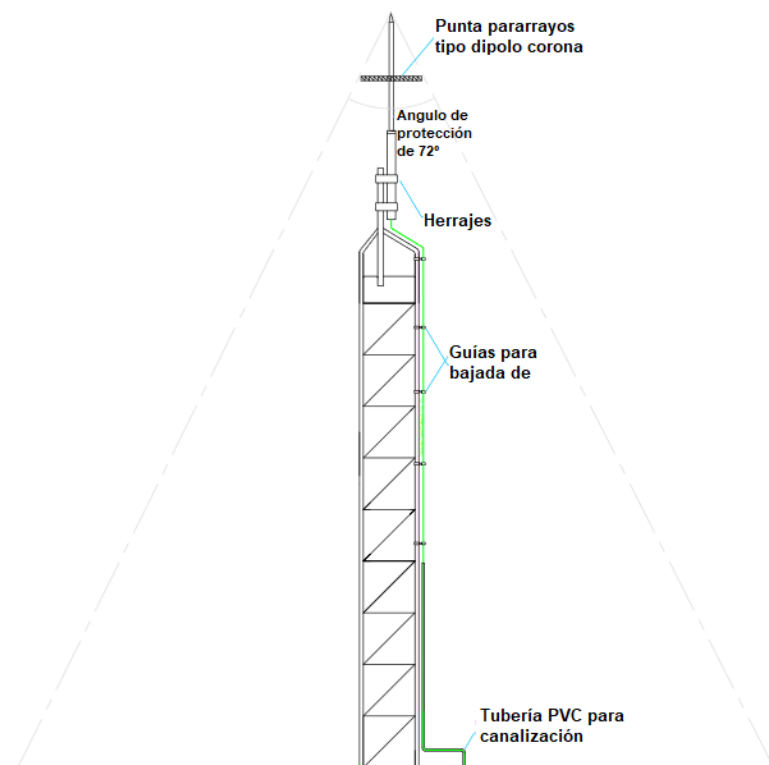
16 Anexos

16.1 Anexo 1: Manual de Resolución de Problemas

16.2 Anexo 3: Pararrayo para torre tipo punta Franklin con corona

Las torres de cada uno de los sitios, deben contar con protección contra rayos, para prevenir que, tanto los equipos exteriores como los que se encuentran a lo interno de los sitios, resulten dañados por descargas atmosféricas.

Para lo anterior se utilizarán pararrayos marca Total Ground, de tipo punta Franklin con corona de 61.2 cm con soporte para mástil, el cual debe tener una altura de al menos 2 m por encima de la torre, con un pozo para descarga a tierra con dimensiones 40 x 40 x 90 cm. Este pararrayos tiene un ángulo de protección de 72°, lo cual es suficiente para proteger los equipos instalados en la torre.



16.3 Anexo 4: Hoja de Datos de Equipos de Radio

NS-SAC	
Dimensions With Mount	257 x 84 x 30 mm (10.12 x 3.31 x 1.18")
Without Mount	257 x 84 x 41 mm (10.12 x 3.31 x 1.61")
Weight	233 g (8.22) oz
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE Supply (Included)
Max. Power Consumption	9W
Power Method	802.3af Alternative A (Pairs 1, 2+; 3, 6 Return) 24V Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
Gain	16 dBi
Networking Interface	(2) 10/100/1000 Mbps Ethernet Ports
Channel Bandwidths	10/20/30/40/50/60/80 MHz
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 560 MHz
Memory	64 MB DDR2
Cross-polar Isolation	20 dB Minimum
Max. VSWR	1.6:1
Beamwidth	45° (H-pol) / 45° (V-pol) / 45° (Elevation)
Polarization	Dual Linear
Enclosure	UV Resistant Polycarbonate
LEDs	(1) Power, Eth1, Eth2; (1) Signal Strength
Mounting	Post-Mount (Kit Included)
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing
RoHS Compliance	Yes
ESD/EMP Protection	±24kV Contact/Air
Shock & Vibration	ETSI300-019-1.4
Certifications	CE, FCC, IC

Operating Frequency (MHz)				
Worldwide				5150 - 5875
USA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850

Management Radio (MHz)	
Worldwide	2412 - 2472
USA	2412 - 2462

Output Power: 25 dBm							
5 GHz TX Power Specifications				5 GHz RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/4)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/4)	-96 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/4)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/4)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1/4)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1/4)	-65 dBm	± 2 dB

PBE-5AC-500					
Dimensions	Radome Excluded			Radome Included	
	520 x 520 x 308 mm (20.47 x 20.47 x 12.13")			525 x 525 x 315 mm (20.67 x 20.67 x 12.40")	
Weight	Radome Excluded			Radome Included	
	2.35 kg (5.18 lb)			3.15 kg (6.95 lb)	
Power Supply	24V, 0.5A Gigabit PoE				
Max. Power Consumption	8.5W				
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)				
Supported Voltage Range	20-26VDC				
Operating Frequency	Worldwide	USA: U-NII-1	USA: U-NII-2A	USA: U-NII-2C	USA: U-NII-3
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5250 MHz*	5250 - 5350 MHz*	5470 - 5725 MHz*	5725 - 5850 MHz*
Gain	27 dBi				
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port				
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 720 MHz				
Memory	128 MB DDR2, 16 MB Flash				
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN				
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels				
Max. VSWR	1.5:1				
Channel Sizes	P/P Mode			P/M/P Mode	
	10/20/30/40/50/60/80 MHz			10/20/30/40 MHz	
Polarization	Dual Linear				
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic				
Mounting	Pole-Mount (Kit Included)				
Wind Loading	264.6 N @ 96 km/h (60 lbf @ 60 mph)				
Wind Survivability	96 km/h (60 mph)				
ESD/EMP Protection	Air: ± 24 kV, Contact: ± 24 kV				
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)				
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing				
Wireless Approvals	FCC, IC, CE				
RoHS Compliance	Yes				
Salt Fog Test	IEC 68-2-11 (ASTM B117), Equivalent: MIL-STD-810 G Method 509.5				
Vibration Test	IEC 68-2-6				
Temperature Shock Test	IEC 68-2-14				
UV Test	IEC 68-2-5 at 40° C (104° F), Equivalent: ETS 300 019-1-4				
Wind-Driven Rain Test	ETS 300 019-1-4, Equivalent: MIL-STD-810 G Method 506.5				

PBE-5AC-500 Output Power: 24 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1%)	24 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1%)	-96 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1%)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1%)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (1%)	24 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1%)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1%)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1%)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1%)	24 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1%)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1%)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1%)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1%)	22 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1%)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1%)	21 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1%)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1%)	20 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1%)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1%)	19 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1%)	-65 dBm	± 2 dB

* Some frequencies may require activation; visit: <https://www.ubnt.com/fcclabelrequest>

16.4 Anexo 5: Hoja de Datos de Equipos de Datos



24V 0.8A Adapter

USB cable

MikroTik

RB2011UiAS-2HnD-IN

RouterBOARD 2011UiAS-2HnD has most features and interfaces from all our Wireless routers. It's powered by the new Atheros 600MHz 74K MIPS network processor, has 128MB RAM, five Gigabit LAN ports, five Fast Ethernet LAN ports and SFP cage (SFP module not included). Also, it features powerful (up to 1W!) dual chain 2.4Ghz 802.11bgn wireless, RJ45 serial port, microUSB port and RouterOS L5 license.

RB2011UiAS-2HnD-IN comes with desktop enclosure, two indoor antennas for wireless, power supply and touchscreen LCD panel.

General specifications	
CPU	Atheros AR9344 600MHz
Memory	128MB DDR2 SDRAM onboard memory
Ethernet	Five 10/100 Mbit Fast Ethernet ports with Auto-MDIX Five 10/100/1000 Mbit Gigabit Ethernet ports with Auto-MDIX
Wireless	AR9344, built in 2GHz dual chain 802.11b/g/n wireless device Also includes two 4dBi swivel antennas
Wireless regulations	Specific frequency range may be limited by country regulations
Expansion	One fixed Gigabit Ethernet SFP cage (Mini-GBIC, SFP module not included)
Extras	Reset button, Reset jumper, RJ45 serial port, LCD panel, Temperature and Voltage sensors, powered micro-B USB connector, Buzzer
Power Input	Jack 8-28V DC; PoE: 8-28V DC on Ether1 (Non 802.3af), 11W max consumption
Power output	500mA on Port 10
Dimensions	230x90x25mm, Weight (board with LCD): 233g
Operating temperature	-35C to +65C
Operating System	MikroTik RouterOS, L5 license
Package Includes	RB2011, power supply, USB cable

Feature / Model		2011UiAS-2HnD-IN
Enclosure		Desktop
SFP port		Yes
Serial port		Yes
USB		Yes
Wireless		Yes
Antennas		2x built in 4dBi swivel
LCD display		Yes

802.11b/g	RX Sensitivity	TX Power	802.11n	RX Sensitivity	TX power
1Mbit	-95	30dBm	MCB018 20MHz	-95	30dBm
11Mbit	-80	28dBm	MCB018 40MHz	-92	30dBm
6Mbit	-96	30dBm	MCB7116 20MHz	-76	25dBm
54Mbit	-80	27dBm	MCB7116 40MHz	-73	25dBm

RB2011UiAS-2HnD-IN



MikroTik



RB260GS series

The RB260GS is a small SOHO switch. Two models are available, the RB260GS, and the RB260GSP, which features power output on it's ethernet ports. Ports 2-5 can power other PoE capable devices with the same voltage as applied to the unit.

Both devices have five Gigabit Ethernet ports and one SFP cage, switching is done by an Atheros Switch Chip.

The devices are running an operating system designed specifically for MikroTik Switch products - SwOS.

SwOS is configurable from your web browser. It gives you all the basic functionality for a managed switch, plus more: Allows to manage port-to-port forwarding, apply MAC filter, configure VLANs, mirror traffic, apply bandwidth limitation and even adjust some MAC and IP header fields.

Tested and recommended to use with MikroTik SFP modules: S-85DLC05D, S-31DLC20D and S-35/53LC20D (not included)

CPU	Teliatech TF470
Memory	Embedded 96K BRAM
Ethernet	Five 10/100/1000 Ethernet ports, Atheros switch AR8327
PoE output	RB260GSP only: Passive PoE output on ports 2-5. Max current 1A per port
SFP	One fixed Gigabit Ethernet SFP cage with DOMI support (Mini-GBIC; SFP module not included)
Serial port	No serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 Ethernet activity LEDs
Extras	Hardware watchdog
Power options	PoE: 8-30V DC on Ether1 (Non 802.3af). Jack: 8-30V DC
Dimensions	113x138x29mm. Without packaging and PSU: 212g
Power consumption	Up to 6W
Operating Temperature	-25C - +65C
Operating System	MikroTik SwOS

16.5 Anexo 5: Cotizaciones Realizadas



ASFC 03/0024/10/2017/0

Miami - Motherboard

For Tracking and Customer Service

Agent:

Website: <http://www.envios2224.com>

E-mail: contactme@envios2224.com

SUMMARY INVOICE

Destination:

Managua - Bello Horizonte - 22-24
De la Rotonda Bello Horizonte 1½ C al sur l B-II-46
11145
2248-2464

Origin:

Miami - Motherboard

Created:

June 13, 2019, 8 p.m.
Receipt #: USA-166069
Payment Method: **Cash**

Transaction:

Number #: **211507**
Status: **Started**
Code: **678EEBE052**
Level: **Standard (Pckgs 8-10 days)**

Receptor

Luis Carlos Poveda Valdivia
Portón principal de la UNI central, 25 mts al oeste
Managua - Managua, Nicaragua
8721-1103

Sender

Casillero 22 24
1101 SW 1 ST
Miami - Florida, United States of America

Encomiendas - Export - Pick-Up at Agency

Flete:	\$ 21.63
Handle:	\$ 39.60
Subtotal:	\$ 61.23
Insurance:	\$ 0.00
Tax:	\$ 0.00
Total:	\$ 61.23



Items List		
Description	Weight	Value
MikroTik 4.4 out of 5 stars 243 Reviews Mikrotik Routerboard RB2011UiAS-2HnD-IN Sfp Port plus 10 Port Ethernet	1.03 P	\$ 66.00
MikroTik 4.4 out of 5 stars 148 Reviews Mikrotik RB951G-2HND 5-Port Gigabit Wireless AP 1000mW Mikrotik RB951G-2HND 5-Port Gigabit Wireless AP 1000mW	1.03 P	\$ 66.00
Mikrotik RB260GS (CSS106-5G-1S) small SOHO Switch 5x Gigabit Ethernet, one SFP cage powered by an Atheros Switch Chip, plastic case, SwOS (Original Version) Mikrotik RB260GS (CSS106-5G-1S) small SOHO Switch 5x Gigabit Ethernet, one SFP cage powered by an Atheros Switch Chip, plastic case, SwOS (Original Version)	1.03 P	\$ 66.00
	3.09 P	\$ 198.00

SEVASA
Tecnologia a tu alcance

CLIENTE: **LUIS CARLOS POVEDA**
 CONTACTO:
 N° RUC/CED ID:
 DIRECCION: **Managua**
 DESCRIPCION:

FECHA: **22/1/2019**
 N° DE CONTACTO:
 CORREO ELECTRONICO:

CANTIDAD	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	U\$ Unitario	U\$ Total
1	MODULO SOLAR EGE ECAMI 12V 80WATT	\$55.00	\$55.00
1	CONTROLADOR DE CARGA EP SOLAR LS1024EU 10AMP	\$17.00	\$17.00
1	INVERSOR SAMLEX 12V 250WATT	\$27.00	\$27.00
1	BATERIA TROJAN 12V 85AH CICLO PROFUNDO	\$125.00	\$125.00
Sub-Total			\$ 224.00
			\$ 6.60
Monto Total Cotizado			\$ 230.60

Condiciones Generales de Ventas:

Precios:	Neto en \$ dolares
Descuentos:	Incluidos
Periodo de Validez:	10 dias
Forma de Pago:	Prepago
Entrega:	Aceptamos tarjeta de credito, cheque certificados, y efectivo.
RUC ECAMI S.A.	Con previa confirmacion
	00310000155011

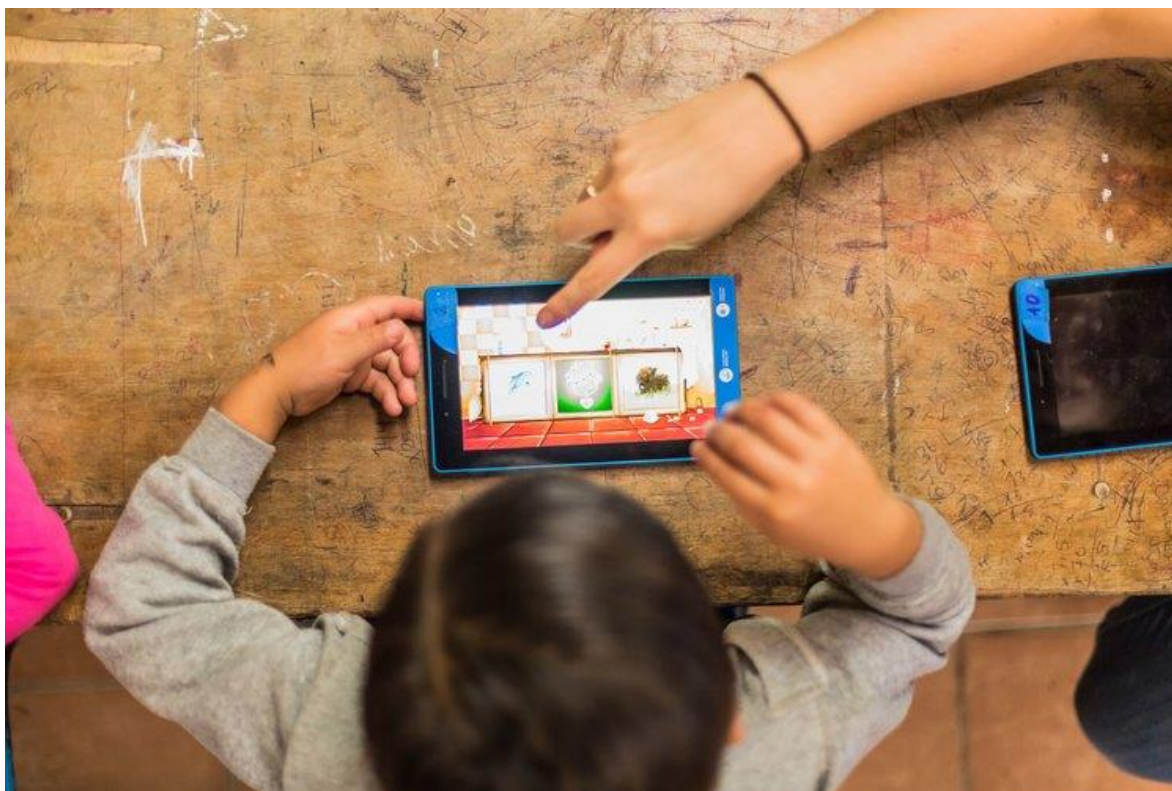
ECAMI S.A: Departamento Comercial
Asesor Comercial: Carolina Lopez
Correo Vendedor: carolina.lopez@ecami.com.ni
Telefono: 22773692
Celular: 85608696

- NOTA:**
1. Nuestros paneles solares y baterias de ciclo profundo están exentos de IVA, según ley 532
 2. Oferta estimada, su valor definitivo se confirmará posterior a la respectiva Inspección Técnica
 3. Los servicios por Mano de Obra se deben cancelar de forma anticipada
 4. Estamos exentos del 2% de retencion de IR por ser grandes contribuyentes
 5. Estamos exentos del impuesto municipal del 1% solo por la alcaldia de Managua



16.6 Anexo 6: Imágenes de las dos Escuelas

16.6.1 Uso de tablets donadas por la ONG



16.6.2 Escuela Santa Enriqueta



16.6.3 Escuela La Hammonia

